



TESIS UANCV



UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



TESIS

**"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA
ETAPA DE TRATAMIENTO DE SOLUCIÓN CLARIFICADA EN EL PROCESO
MERRILL CROWE"**

PRESENTADO POR:

BACH. BALBIN APAZA UMIÑA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PUNO - PERU

2017



"UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA
ETAPA DE TRATAMIENTO DE SOLUCIÓN CLARIFICADA EN EL PROCESO
MERRILL CROWE"

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH. BALBÍN APAZA UMIÑA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

APROBADO POR EL JURADO:

PRESIDENTE

ING. SALVADOR TEODORO, VALDIVIA CÁRDENAS

PRIMER MIEMBRO

MG. ING. MARIO ALEJANDRO, RAMOS HERRERA

SEGUNDO MIEMBRO

ING. ADWAR RANULFO, SÁNCHEZ CARREÓN

ASESOR

MG. PAUL HERNANDO, MAMANI SÁNCHEZ

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 390 - 2017 – D - FICP-UANCV**

Juliaca, 11 de diciembre de 2017.

VISTOS:

El Oficio N° 138-2017-E.P. IM-UANCV-FP del Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N° 297-2017-D-FICP-UANCV sobre la aprobación de TRABAJO DE TESIS titulado **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ETAPA DE TRATAMIENTO DE SOLUCIÓN CLARIFICADA EN EL PROCESO MERRILL CROWE"** y el trámite solicitado por el (los) Bachiller(es) en Ingeniería Mecánica;

CONSIDERANDO:

Que, el (los) Bachiller (es) APAZA UMIÑA, BALBIN; han solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Trabajo de Tesis titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ETAPA DE TRATAMIENTO DE SOLUCIÓN CLARIFICADA EN EL PROCESO MERRILL CROWE"**, para rendir el examen de sustentación de tesis, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico;

Que, los Jurados designados por la Comisión Permanente de Grados y Títulos de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

* Presidente	:	Ing. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS
* 1er. Miembro	:	M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA
* 2do. Miembro	:	Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON

De conformidad al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria 30220, ley de creación de la UANCV 23738 y modificación, Resolución de Institucionalización 1287-92-ANE D.L. 739, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras;

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Lugar, Día y Hora para que el bachiller: APAZA UMIÑA, BALBIN; rendirá el Examen de Sustentación de Tesis del trabajo de tesis titulado: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ETAPA DE TRATAMIENTO DE SOLUCIÓN CLARIFICADA EN EL PROCESO MERRILL CROWE"** para optar el Título Profesional Ingeniero Mecánico de acuerdo al siguiente detalle:

- FECHA : Viernes, 15 de diciembre de 2017
- HORA : 10:00 a.m.
- LUGAR : Auditorium de la UANCV – Filial Puno

ARTICULO SEGUNDO.- La Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c. Arch.
ATZB/epl.UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASIng. Ing. ALFREDO ZEGARRA BUTRÓN
DECANO
CIP: 32590UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Carlos A. Cáceres Vargas
SECRETARIO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
CIP: 72725



DEDICATORIA

A Dios, a mis padres y hermanos.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haberme apoyado en todo momento, a los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica y Compañeros de Estudio, quienes han formado parte de mi desarrollo profesional.



CONTENIDO

RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	13
1.1. Formulación del problema.....	14
1.1.1. Descripción del problema.....	14
1.1.2. Análisis de la situación problemática.....	14
1.2. Planteamiento del problema.....	15
1.2.1. Problema General:.....	15
1.2.2. Problemas Específicos:.....	15
1.3. Objetivos de la investigación.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Justificación del estudio	16
1.5. Limitaciones de la investigación	16
1.6. Hipótesis	17
1.6.1. Hipótesis general	17
1.6.2. Hipótesis específicas	17
1.7. Variables	17
1.7.1. Variables independientes	17
1.7.2. Variables dependientes.....	17
1.7.3. Operacionalización de las variables	18
1.7.4. Definición operacional de la variable:.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	20
2.1. Antecedentes del estudio.....	21
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. La minería.....	22
2.2.1.1. Mina a cielo abierto	22
2.2.1.2. Mina subterránea	23
2.2.2. Ciclo de vida de una mina	24
2.2.3. Procesos productivos de una mina de Tajo abierto	25
2.2.4. Minería en el Perú.....	26
2.2.5. Lixiviación en pilas o heap leaching	28
2.2.6. Proceso Merrill Crowe	30
2.2.6.1. Clarificación de solución rica.....	30



2.2.6.3.	Precipitación	34
2.2.6.4.	Alimentación de polvo de zinc como Precipitante.....	34
2.2.7.	Separación del precipitado.....	35
2.2.8.	Parámetros del proceso Merrill Crowe	37
2.2.9.	Automatización industrial	41
2.2.9.1.	Ventajas de la automatización.....	42
2.2.9.2.	Desventajas de la automatización.....	43
2.2.10.	Fundamentos básicos de la Ingeniería eléctrica.....	44
2.2.10.1.	Corriente continua y corriente alterna.....	44
2.2.10.2.	Resistencia eléctrica	45
2.2.11.	Fundamentos de la Neumática.....	46
2.2.12.	Fundamentos físicos de la neumática	48
2.2.13.	Fundamentos de la técnica de control.....	49
2.2.13.1.1.1.	Control manual	51
2.2.13.1.1.2.	Control automático.....	52
2.2.14.	Definiciones de control.....	53
2.2.15.	Tipos de control	53
2.2.15.1.	Control todo-nada	54
2.2.15.2.	Control proporcional de tiempo variable	54
2.2.15.3.	Control proporcional.....	55
2.2.15.4.	Control proporcional + integral	57
2.2.15.5.	Control proporcional + derivado	58
2.2.15.6.	Control proporcional + integral + derivado.....	60
2.2.16.	Controlador Lógico Programable (PLC)	61
2.2.16.1.	Datos generales.....	61
2.2.17.	Sistemas SCADA.....	65
2.2.18.	Medidas de caudal.....	65
2.2.19.	Medidores de nivel de líquidos	67
2.2.20.	Válvula de control.....	67
2.2.20.1.	Tipos de válvulas de control.....	68
2.2.21.	Definición de términos.....	69
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		74
3.1.	Tipo y nivel de investigación.....	75
3.2.	Descripción del ámbito de la investigación.....	75
3.2.1.	Unidad Minera ANAMA	76
3.3.	Población y muestra.....	76
3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	77
3.5.	Validez y confiabilidad del instrumento.....	78



CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DEL PROYECTO	79
4.1. Introducción	80
4.2. Proceso Merrill Crowe	80
4.3. Diseño e implementación de Planta	83
4.3.1. Diseño.....	83
4.3.1.1. Sistema de bombeo de soluciones.....	83
4.3.1.2. Estructura mecánica	86
4.3.1.2.1. Calculo estructural.....	87
4.3.1.3. Sistema eléctrico.....	91
4.3.1.3.1. Circuito de fuerza	92
4.3.1.3.2. Circuito de mando	93
4.3.1.3.3. Dimensionamiento de conductores.....	94
4.3.2. Implementación.....	97
4.3.2.1. Sistema de bombeo de soluciones.....	97
4.3.2.2. Componentes del sistema eléctrico.....	101
4.3.3. Implementación de sistema de automatización	114
4.3.3.3.3. Posicionador y Actuador neumático.....	117
4.3.3.3.4. Controlador.....	121
4.3.3.3.5. Configuración del controlador TM 221CE 24R.....	122
4.3.3.3.5.1. Modalidad offline.....	125
4.3.3.3.5.2. Modalidad online	125
4.3.3.3.5.3. Modalidad de simulador	125
4.3.3.3.6. Inicio en SoMachin Basic V1.5 SP1.....	125
4.3.3.3.7. Programación del controlador en SoMachin Basic V1.4 SP1.....	129
4.3.3.3.8. Sintonización	131
4.3.3.3.9. Entorno Grafico con Vijeo Designer 6.2.....	135
CAPÍTULO V: CÁLCULO Y RESULTADOS	138
CAPÍTULO VI: analisis de RESULTADOS	143
CAPÍTULO VII: ANALISIS ECONOMICO	146
7.1. Análisis económico	147
CAPÍTULO VIII: DISCUSIÓN	151
DISCUSIÓN.....	152
CONCLUSIONES	153
RECOMENDACIONES.....	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXOS	158



Figura 1. Trabajos en mina de cielo abierto.....	23
Figura 2. Trabajos en interior mina perforadora Simba S7	24
Figura 3. Ciclo de vida de una mina	25
Figura 4. Proceso productivo de una mina	26
Figura 5. Ubicación geográfica del Perú en el mundo	27
Figura 6. Capas que conforman la base del Pad de lixiviación	29
Figura 7. Construcción del Pad de Lixiviación	29
Figura 8. Estructura de una partícula de diatomita	31
Figura 9. Filtro Clarificador de hojas.....	32
Figura 10. Bomba de vacío SIHI.....	33
Figura 11. Torre de desoxigenación	33
Figura 12. Mecanismo de precipitación de oro por zinc.....	35
Figura 13. Filtro Prensa,.....	36
Figura 14. Dinámica del fluido	38
Figura 15. diferentes tipos de medición de nivel.....	39
Figura 16. Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación y el turbidímetro Jackson (Jackson candle).	40
Figura 17. Sensores electrodo de membrana (polarográfico), equilibrio de oxígeno y luminescente	41
Figura 18. Arquitectura de comunicación en Ethernet network.....	42
Figura 19, Representación de corriente continua y alterna.....	44
Figura 20. Representación de un circuito eléctrico en DC	45
Figura 21. Cadena de mando abierto	49
Figura 22. Circuito cerrado de regulación	50
Figura 23. Lazos de control abierto y cerrado.....	51
Figura 24. Control manual de válvula	52
Figura 25. Control automático de válvula	53
Figura 26. Control todo o nada de termostato Honeywell	54
Figura 27. Control proporcional de tiempo variable	55
Figura 28. Control proporcional	56
Figura 29. Control proporcional con offset.....	56
Figura 30. Control electrónico proporcional de un tanque.....	57
Figura 31. Respuesta a un escalón del controlador PI	58
Figura 32. Control proporcional + derivado.....	59
Figura 33. Control proporcional + derivativo+ integral	60
Figura 34. Componentes de un PLC	62



Figura 36. Tipos de válvula de control.....	68
Figura 37. Esquema de diferencia entre Exactitud y precisión	71
Figura 38. Ubicación de la planta de procesos Merrill Crowe ANAMA.....	76
Figura 39. Planta de proceso Merrill Crowe ANAMA	77
Figura 40. Diagrama de proceso de la planta a implementar.....	81
Figura 41, Identificación funcional de los símbolos de instrumentación	82
Figura 42. Diseño en SolidWork, asignación del cordón de soldadura	86
Figura 43. Simulación de tensión von Mises - SolidWorks.....	88
Figura 44. Simulaciones de desplazamiento y deformación	89
Figura 45. Dimensiones de la estructura metálica de la planta (Vista Frontal).....	90
Figura 46. Vista Isométrica de diseño en 3D	90
Figura 47. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de planta.....	92
Figura 48. Circuito de fuerza de la planta	93
Figura 49. Circuito de mando de la planta	94
Figura 50. Placa de datos de la bomba periférica seleccionada	97
Figura 51. Interruptor termomagnético instalado en el tablero eléctrico.....	101
Figura 52. Contactores instalados en el tablero.....	102
Figura 53. Curvas de tiempo de disparo de Relés	102
Figura 54. Relé Térmico.....	103
Figura 55. Estructura de los interruptores de levas.....	104
Figura 56. Pulsador N/A N/C y simbología	105
Figura 57. Parada de emergencia y símbolo	105
Figura 58. Partes del relé de contactos auxiliares	106
Figura 59. Diagrama de control automático de nivel.....	107
Figura 60. Diagrama de bloques del control automático.....	107
Figura 61. Sensor de caudal Sea YF-S201	109
Figura 62. Diagrama de conexión del regulador de voltaje 7810	109
Figura 63. Partes del posicionador electroneumático	110
Figura 64. Posicionador electroneumatico y actuador neumático	111
Figura 65. Partes principales del PLC TM221CE24R	112
Figura 66. Conexionado del módulo de entradas y salidas analógicas mixtas.....	114
Figura 67, Modulo de comunicación RS 485	115
Figura 68, Tarjeta Arduino Nano	115
Figura 69. Conexionado del sensor de Caudal y LCD	116
Figura 70. Diseño del mecanismo para el sensor de nivel.....	117
Figura 71. Actuador instalado en planta	118
Figura 72. Partes de actuador neumático.....	119



Figura 74. Conexión de aire en el posicionador 5950 00	120
Figura 75. Datos del controlador TM221CE24R y moduloTM3AM6	121
Figura 76. Fases de un proyecto en SoMachin Basic.....	124
Figura 77. Página de inicio SoMachine Basic 1.4 SP1	126
Figura 78. Ventana principal SoMachine Basic	128
Figura 79. Configuración del controlador y su módulo de ampliación	129
Figura 80. Diagrama de contactos en SoMachine Basic	130
Figura 81. Manejo de variables en SoMachin Basic	131
Figura 82. Asistente de PID SoMachine Basic	133
Figura 83. Asignación la dirección de entrada PID	133
Figura 84. Asignación de Consigna y direcciones de los parámetros PID	134
Figura 85. Asignación de la dirección de salida analógica.....	134
Figura 86. Tabla de animación para ingresar valores de las direcciones.....	135
Figura 87. Diseño del entorno gráfico con Vijeo Designer 6.2	137
Figura 88. Relación de corriente (mA) y apertura del posicionador de la válvula.....	139
Figura 89. Sintonización PID con la tabla de tendencias en Vijeo Designer 6.2	144



Tabla 1. Tabla de operacionalización de variables	18
Tabla 2. Ranking mundial de producción minera	28
Tabla 3. Tabla de variables del proceso	37
Tabla 4. Ventajas de la neumática	47
Tabla 5. Unidades básicas	48
Tabla 6. Unidades derivadas	48
Tabla 7. Medidores de caudal	66
Tabla 8. Error de medida de caudal	70
Tabla 9. Cuadro de codificación de instrumentos del diagrama P&ID	82
Tabla 10. Tabla de relación de valores de la fórmula de caudal	85
Tabla 11. Datos de funcionamiento de las bombas periféricas	86
Tabla 12. Análisis de peso de perfil tubular	87
Tabla 13. Tabla de características de los tubos de la estructura	88
Tabla 14. Cuadro de demanda máxima de potencia	91
Tabla 15. Tabla de fórmulas para hallar la intensidad de la carga en Amp.	94
Tabla 16. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible	95
Tabla 17. Factores de corrección por temperatura	95
Tabla 18. Sección nominal de los conductores de puesta a tierra	96
Tabla 19. Características del cable TTRF-70	97
Tabla 20. Distribución de los equipos en la estructura de planta	100
Tabla 21. Cuadro de entradas y salidas digitales requeridas	111
Tabla 22. Características del controlador lógico programable:	112
Tabla 23, Características del módulo de entradas y salidas analógicas mixtas	113
Tabla 24. Equivalencia de altura vs Voltaje de salida	116
Tabla 25, Requisitos para el sistema Vijeo Designer	136
Tabla 26. Tabla de equivalencia de valores de señales en mA y voltios	142
Tabla 27. Cuadro de materiales reservorios, tuberías y accesorios	147
Tabla 28. Materiales de equipamiento eléctrico y de control	148
Tabla 29. Cuadro de materiales de estructura metálica y pintura	149
Tabla 30. Cuadro resumen de los costos directos	149
Tabla 31. Cuadro resumen de costos indirectos	150
Tabla 32. Cuadro resumen del costo total	150



El presente trabajo de investigación, trata sobre la implementación de un sistema automatizado para una planta de procesos Merrill Crowe, en la etapa de tratamiento de la solución rica (pregnant) clarificada, que contiene los valores disueltos de oro y plata, provenientes de la lixiviación con cianuro, de un proceso productivo en una mina de tajo abierto. La necesidad de automatizar esta etapa del proceso, nace con el objetivo de mitigar o minimizar las pérdidas de producción por una parada intempestiva de planta y mejorar las condiciones de la operación manual, que se tiene al arrancar la planta y la dificultad para estabilizar el nivel de solución en la torre de vacío, durante la operación, sobre todo cuando las condiciones atmosféricas no son favorables. El control automatizado de la planta es implementado utilizando un controlador lógico programable (PLC) con un módulo de entradas y salidas analógicas, que se encargan de recibir las señales de los sensores de caudal y de nivel, para interactuar con una válvula de control con posicionador electroneumático, encargada de estabilizar el nivel de solución clarificada de la torre de vacío, para efectos de prueba del sistema automatizado, se implementó una planta con la características del proceso Merrill Crowe, donde se evalúan los resultados, concluyendo que el sistema de control automatizado en la etapa de tratamiento de la solución clarificada, contribuye notablemente a reducir las pérdidas productivas durante la operación y reinicio de paradas inesperadas de la planta. La investigación realizada será de gran aporte para la realización y/o aplicación de la automatización de diferentes procesos mineros de la región de Puno.

Palabras claves: Merril Crowe, Solución Pregnant, Automatización, Minería, Control de nivel, Sensor de Caudal.



The present work deals with the implementation of an automated system for a Merrill Crowe process plant at the stage of treatment of the clarified rich solution containing dissolved gold and silver values from leaching with cyanide, from a production process in an open-pit mine. The need to automate this stage of the process, was born with the aim of mitigating or minimizing production losses by an untimely plant shutdown and improve the conditions of the manual operation, which is had when starting the plant and the difficulty to stabilize the level of solution in the vacuum tower, during the operation, especially when the atmospheric conditions are not favorable. The automated control of the plant is implemented using a programmable logic controller (PLC) with an analog input and output module, which are responsible for receiving the signals from the flow and level sensors, to interact with a control valve with positioner electropneumatic, in charge of stabilizing the level of clarified solution of the vacuum tower, for testing purposes of the automated system, a plant with the characteristics of the Merrill Crowe process was implemented, where the results are evaluated, concluding that the automated control system in The treatment step of the clarified solution contributes significantly to reducing production losses during operation and restarting unexpected plant shutdowns. The research will be of great contribution for the realization and / or application of the automation of different mining processes of the region of Puno.

Key words: Merril Crowe, Pregnant Solution, Automation, Mining, Level Control, Flow Sensor.



INTRODUCCION

El presente proyecto de tesis está orientado a la aplicación de la automatización y control de procesos, en la etapa de tratamiento de solución clarificada, para la recuperación de oro y plata por medio del proceso Merrill Crowe, con la finalidad de reducir las pérdidas de productividad presentadas con la operación manual. En el Capítulo I, con los aspectos generales que detallan el problema de la investigación, los objetivos y las hipótesis planteadas para la solución del problema. A continuación, en el Capítulo II, se presenta el marco teórico que nos da alcance de los antecedentes de la investigación, los métodos de explotación minera, detalles del proceso Merrill Crowe, acompañado de la teoría de las técnicas de control y la automatización de procesos.

En cada etapa del proceso Merrill Crowe intervienen instrumentos para verificar las variables físicas como el caudal, nivel, turbidez, presión, oxígeno disuelto entre otros, que requieren ser integrados a un sistema automatizado, para optimizar el proceso producción, sobre todo si la planta es de operación manual y tiene un ritmo de trabajo continuo.

En el Capítulo III, se presenta la metodología empleada en la investigación, continuando, con el Capítulo IV donde se desarrolla de manera detallada el diseño e implementación del sistema de automatización en una representación de la planta con la implementación básica para evaluar el funcionamiento del sistema de control planteado y realizar las pruebas respectivas, en el Capítulo V, se muestra el cálculo y resultados, en el Capítulo VI el análisis resultados obtenidos. Finalmente en los Capítulos VII y VIII, Se dedica al análisis económico, la discusión y las conclusiones que se produjeron como parte del estudio, así como el planteamiento de algunas recomendaciones para la mejora de este proyecto.



CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES



1.1.1. Descripción del problema

El problema se presenta en la planta de recuperación de oro mediante el proceso Merrill Crowe, de la unidad minera ANAMA, que sufre paradas imprevistas de planta y por consiguiente pérdidas de producción, principalmente, debido a la inestabilidad del nivel de la solución rica clarificada en la torre de vacío, que afecta la eliminación del oxígeno disuelto en la solución clarificada, siendo el mayor riesgo quedarse con el nivel bajo de solución en la torre, que genera cavitaciones en la bomba de precipitado y en consecuencia una parada de planta, demandando cierto tiempo considerable para reiniciar la operación, este tipo de eventos representa la mayor causa de pérdidas productivas durante la operación.

1.1.2. Análisis de la situación problemática

La operación actual de la planta en la unidad de ANAMA es netamente manual, a cargo de un supervisor, un asistente y un operador por turno, que intervienen con frecuencia en el ajuste de válvulas, arranque/parada de los equipos y toma de muestras de soluciones que son enviadas al laboratorio químico, entre otras actividades propias de un día de jornada laboral. La situación problemática en la operación de la planta, radica en mantener una estabilidad adecuada del nivel de la solución clarificada en la torre de vacío, parámetro importante para una adecuada eliminación de oxígeno disuelto, cuyos valores son muy importantes para la etapa de precipitación, generando mayor consumo de insumos como el Zinc en polvo y la Diatomita, que aceleran la saturación de los filtros prensa (filtros de precipitado), con una baja recuperación de oro.



1.2.1. Problema General:

P.G: ¿De qué manera se puede minimizar las pérdidas productivas en una planta de proceso Merrill Crowe?

1.2.2. Problemas Específicos:

P.E. 1: ¿De qué manera se puede reducir la operación manual en una planta Merrill Crowe?

P.E. 2: ¿Cómo solucionar la inestabilidad del nivel de la solución clarificada en la torre de vacío en el proceso Merrill Crowe?

P.E. 3: ¿Cómo realizar las pruebas de funcionamiento de la posible solución planteada en un proceso Merrill Crowe?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- i. Diseñar e implementar un sistema automatizado para la etapa de tratamiento de solución clarificada en un proceso Merrill Crowe.

1.3.2. Objetivos específicos

- i. Configurar un controlador lógico programable para que integre la secuencia de arranque de los equipos de bombeo y el control del nivel de solución en la torre de vacío.
- ii. Lograr la estabilidad del nivel en la torre de vacío de forma automática durante el arranque y la operación de la planta, con una válvula de control.
- iii. Implementar una planta Merrill Crowe, con el equipamiento básico para realizar las pruebas del sistema automatizado en el arranque y operación de la planta.

En un escenario donde el operador de planta y terceros, están sujetos a intervenir directamente en el arranque de los equipos, regulación de válvulas en forma manual, se hace necesaria la implementación de un sistema de control automatizado, como parte de solución para reducir las pérdidas de producción en una planta de procesos Merrill Crowe. Ante esta necesidad se plantea la implementación de un sistema de control automatizado que reducirá la intervención humana en el proceso, representando grandes ventajas en cuanto a una producción más eficiente y la disminución de riesgos para operador.

Para el arranque de los equipos de bombeo se plantea implementar la opción del modo de arranque en modo automático secuencial, que será gobernado por un controlador lógico programable (PLC), un sensor de caudal en la línea de solución clarificada y un control automático del nivel de la solución en la torre de vacío, con un sensor de nivel se señal analógica y una válvula de control con posicionador electro-neumático en la salida de la bomba de precipitado.

1.5. Limitaciones de la investigación

La presente investigación comprende el proceso de recuperación de oro y plata mediante el proceso Merrill Crowe, haciendo una mención general de las actividades del proceso productivo de la minería a tajo abierto, limitándose a la implementación del sistema de automatización en la etapa de tratamiento de solución clarificada en una planta representativa, para realizar las pruebas de arranque secuencial de los equipos, medición de flujo de la solución clarificada y el control automático de nivel de solución clarificada en la torre de vacío, haciendo uso de un sensor nivel para ajustar la apertura y cierre de una válvula de control encargada de estabilizar el nivel de solución en la torre de vacío. La eliminación de oxígeno disuelto mediante bombas de vacío y lectura del oxígeno disuelto no está considerada en la implementación del presente proyecto, puesto que en la planta real ya se cuenta con el equipamiento adecuado para este fin.



1.6.1. Hipótesis general

La automatización de la etapa de tratamiento de solución clarificada en el proceso Merrill Crowe, minimizará las pérdidas productivas en forma eficiente.

1.6.2. Hipótesis específicas

- i. El diseño de un sistema automatizado, empleando un controlador lógico programable (PLC), permitirá la opción de arranque y operación de la planta en modo automático.
- ii. La estabilización del nivel de solución clarificada en la torre de vacío, con una válvula de control con posicionador electro-neumático durante el arranque de la planta y operación, eliminará los riesgos de paradas forzadas de la planta por problemas nivel bajo o alto.
- iii. Una planta con las características del proceso Merrill Crowe, permitirá realizar las pruebas de la automatización.

1.7. Variables

1.7.1. Variables independientes

- Estabilización del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación

1.7.2. Variables dependientes

- Mejora de la eliminación del oxígeno disuelto
- Minimizar pérdidas productivas durante la operación

Variables	Definición conceptual	Indicador	Índice
Variable independiente = V1 Estabilización del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación	Mantener el nivel de la solución clarificada, en la torre de vacío, en un nivel deseado, de modo que si se incrementa por encima del nivel deseado, se tendrá una deficiente eliminación de oxígeno disuelto, mientras que si el nivel está por debajo del valor deseado, se presenta cavitaciones en la bomba de precipitado.	1.1 Medida del nivel de solución clarificada	1.1.1 Utilización del sensor para medir el nivel de solución clarificada en la torre de vacío.
		1.2 Control del caudal de salida de la solución clarificada de la bomba de precipitado	1.1.2 Visualización del nivel de solución clarificada en la torre de vacío 1.2.1 Ajuste de la válvula de control con posicionador electro neumático, en la salida de la bomba de precipitado, en función al nivel de solución clarificada preestablecido
Variable dependiente = V2 Continuidad de la eliminación eficiente del oxígeno disuelto	La continuidad de la eliminación eficiente del oxígeno disuelto se logra manteniendo un nivel promedio al 25% de la altura total de la torre de vacío.	2.1 Niveles de oxígeno disuelto cercanos a 0.2ppm (0.2mg/l) aceptables para una precipitación eficiente del oro y plata	2.1.1 La eliminación del oxígeno disuelto se realiza mediante el uso de bombas de vacío y se verifica mediante un oxímetro instalado en la salida de la torre de vacío
Variable dependiente = V3 Pérdidas productivas durante la operación	Las pérdidas productivas se presentan cuando se realiza una parada de planta o se presenta una variación considerable en el nivel de la solución clarificada en la torre de vacío.	3.1 Paradas de planta por el nivel bajo de solución en la torre de vacío 3.2 Eliminación deficiente de oxígeno disuelto, por el nivel alto de solución en la torre de vacío, provocando mayor consumo del Zinc en polvo en la precipitación.	3.1.1 El frecuente lavado de los filtros clarificadores. 3.1.2 Falla en la bomba de operaciones que alimenta la solución clarificada a la torre de vacío. 3.2.1 Cambio de filtros prensa. 3.2.2 Falla en la bomba de precipitado que descarga la solución clarificada a la torre de vacío.

Tabla 1. Tabla de operacionalización de variables

Fuente: Elaboración propia



Las variables identificadas anteriormente como variable independiente y variable dependiente, como parte del proceso Merrill Crowe, se operan también con la intervención del sistema automatizado basado en el control de nivel de solución en la torre de vacío denominados como:

- **Variable manipulada:** La propiedad o condición del proceso que es ajustado para mantener un valor constante de la variable controlada. Ejemplo: El caudal de solución clarificada que sale de la torre de vacío es manipulado mediante una válvula para mantener el nivel.
- **Variable controlada:** La variable del proceso que está siendo controlada. Ejemplo: Si la variable manipulada es el caudal de solución clarificada que sale de la torre de vacío, la variable controlada es el nivel de solución clarificada que se mantiene en la torre de vacío.

La definición de estas variables se emplean, en la implementación del sistema automatizado para estabilizar el nivel de solución clarificada en la torre de vacío, mediante el uso de un sensor de nivel, un controlador, y un actuador, la interacción de estos tres elementos básicos, definen la aplicación de un sistema de control que reemplazará la regulación manual del nivel de solución en la torre de vacío.



CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

Existen varios de trabajos de investigación relacionados al proceso Merrill Crowe y la automatización, de los cuales se revisaron los siguientes:

2.1.1. “Tesis de Manejo de Pilas de Lixiviación de Oro en Minera Yanacocha” (1).

La tesis elaborada por Manrique Martínez, José Antonio, publicado como Tesis digitales por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde menciona la “Cinética de la cianuración del oro y su recuperación mediante la planta de precipitación Merrill Crowe en la minera Yanacocha” (1).

2.1.2. “Proyecto de automatización del proceso Merrill Crowe” (2).

Este proyecto elaborado por Ricardo Torres Melly 2010 y publicado por Businesses Start E.I.R.L. (2), donde resalta la mención de la deficiente precipitación de oro y plata por falta de control automático de las variables del proceso Merrill Crowe.

2.1.3. Tesis de “Diseño de un sistema de automatización industrial para el sistema de bombeo de aguas acidas” (3).

Elaborado por Carlos Miguel Ojeda Chinchayán, 2012, publicado por la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde se menciona que, las diferentes etapas del proceso que parten desde la extracción del mineral, hasta la producción de las barras dore es automatizado. Partiendo desde el proceso de lixiviación en pilas hasta el proceso Merrill Crowe (3).

2.1.4. Tesis de “Optimización en la operación de una planta de precipitación de oro con polvo de Zinc” (4).

Elaborado por William Jose Carbajal Mamanchura, 2012, publicado por la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se menciona la aplicación del polvo de zinc extrafino en el proceso Merrill Crowe (4).

***intercambio iónico de la compañía minera aurífera Santa Rosa"* (5).**

Tesis elaborada por Karla Julissa Ortega de la Universidad Nacional de Ingeniería del año 2009, que menciona la recuperación de oro mediante el proceso Merrill Crowe en la mina Santa Rosa S.A. de COMARSA y muestra resultados experimentales de extracción de oro por intercambio iónico, partiendo de soluciones acuosas de lixiviación realizadas en una planta piloto (5).

1.9. Bases teóricas

1.10. La minería

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (SNMPE) (6), "Son actividades de exploración y producción minera que se efectúan en gran parte de las regiones del país" (6). Menciona también que es una actividad productiva mediante la cual se identifican zonas con presencia de minerales, los extraen y procesan de forma que podamos contar con los metales que usamos en nuestra actividad diaria (cobre, oro, plata, etc.).

Las minas se dividen principalmente, tomando en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, denominándose, minas a cielo abierto y en minas subterráneas.

2.1.5.1. Mina a cielo abierto

"Las minas a cielo abierto, o minas a tajo abierto, son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza en la superficie del terreno y con maquinaria minera de gran tamaño" (7). Llamado también Open Pit Mine, en esta actividad se remueve la capa superficial de la tierra para acceder al yacimiento del mineral, haciendo uso de equipos de perforación, carguío y acarreo del mineral extraído.



Figura 1. Trabajos en mina de cielo abierto

Fuente: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/biblioteca/articulo.php?id=44>

2.1.5.2. Mina subterránea

“La minería subterránea o de socavón desarrolla su actividad por debajo de la superficie a través de labores subterráneas” (7). En términos comparativos, la maquinaria que se usa en la minería subterránea es mucho más pequeña que la que se utiliza a cielo abierto, debido a las limitaciones que impone el tamaño de las galerías y demás labores.

“Las labores características de este sistema de explotación son los: túneles, cavernas, bocamina o emboquille, cuartel, galería, pozo, chimenea, etc” (7). “Existen distintos métodos de explotación que se dividen en soportados por pilares, soportado por relleno y de hundimiento” (7).



Figura 2. Trabajos en interior mina perforadora Simba S7

Fuente: http://www.enernews.com/media/img/01_simbas7dac0035052456_29270.jpg

2.1.6. Ciclo de vida de una mina

El ciclo de vida de un proyecto minero consta de distintas etapas sucesivas, cada una de las cuales tiene cualidades particulares, en la minería los tiempos entre etapas son largos y las inversiones son enormes:

- “Entre el descubrimiento y el inicio de la operación (la puesta en marcha) pueden pasar décadas” (8).
- “Inversión en exploración y estudios puede ser cientos de millones de dólares” (8).
- “Inversiones totales podrían ser miles de millones de dólares” (8).

2.1.6.1. Hitos críticos:

- “Descubrimiento de un yacimiento” (8).
- “Definición de Recursos Mineros” (8).
- “Definición de Reservas Mineras (después del Estudio de Prefactibilidad o Factibilidad)” (8).
- “Obtención de permisos ambientales para construir (Estudio de Impacto Ambiental)” (8).

- "Puesta en marcha de la operación" (8).
- "Desarrollo brownfield (Incremento reservas y/o aumentos de capacidad)" (8).
- "Agotamiento de las Reservas Mineras" (8).
- "Cierre, desmantelamiento y abandono de las instalaciones mineras" (8).

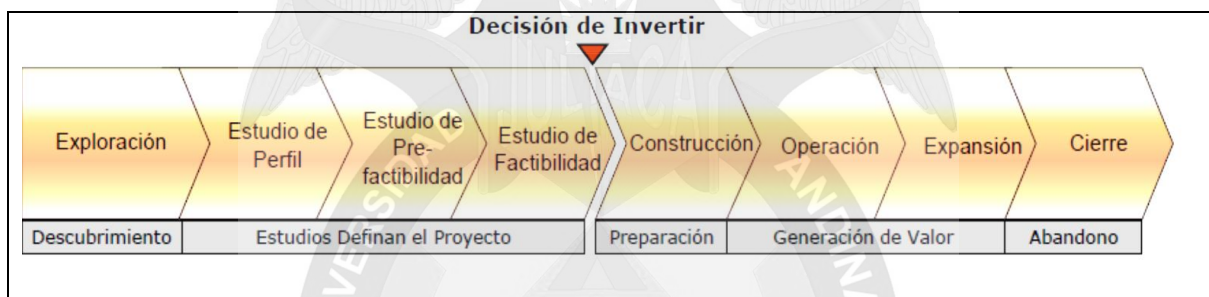


Figura 3. Ciclo de vida de una mina

Fuente: Grupo Antofagasta Minerals

1.11. Procesos productivos de una mina de Tajo abierto

Los principales procesos que componen esta etapa, antes de su descarga en la cancha de lixiviación (PAD) son:

- Pre-minado.
- Perforación.
- Voladura.
- Carguio.
- Transporte.
- Descarga en el PAD.



Figura 4. Proceso productivo de una mina

Fuente: ANABI SAC

1.12. Minería en el Perú

“La minería se desarrolla en el Perú desde épocas inmemoriales, muestra de ello son las piezas de orfebrería y ornamenta que utilizaban las autoridades de las distintas culturas preincaicas, las cuales eran trabajadas en oro y plata principalmente” (9).

“De acuerdo a los estudios antropológicos, arqueológicos, análisis físicos y químicos, en el Perú se utilizó el oro, debido a que el forjado de metales (hierro y bronce) apareció tardíamente en América, a diferencia de Europa y África” (9).

Según el Ministerio de Energía y Minas, “El Perú cuenta con una excelente ubicación geográfica, en el centro de América del Sur. Ello le permite gozar de un fácil acceso a los mercados del Sudeste Asiático y los EE.UU. Asimismo, como miembro de la Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) y de la Comunidad

para los inversionistas de esos mercados" (9).

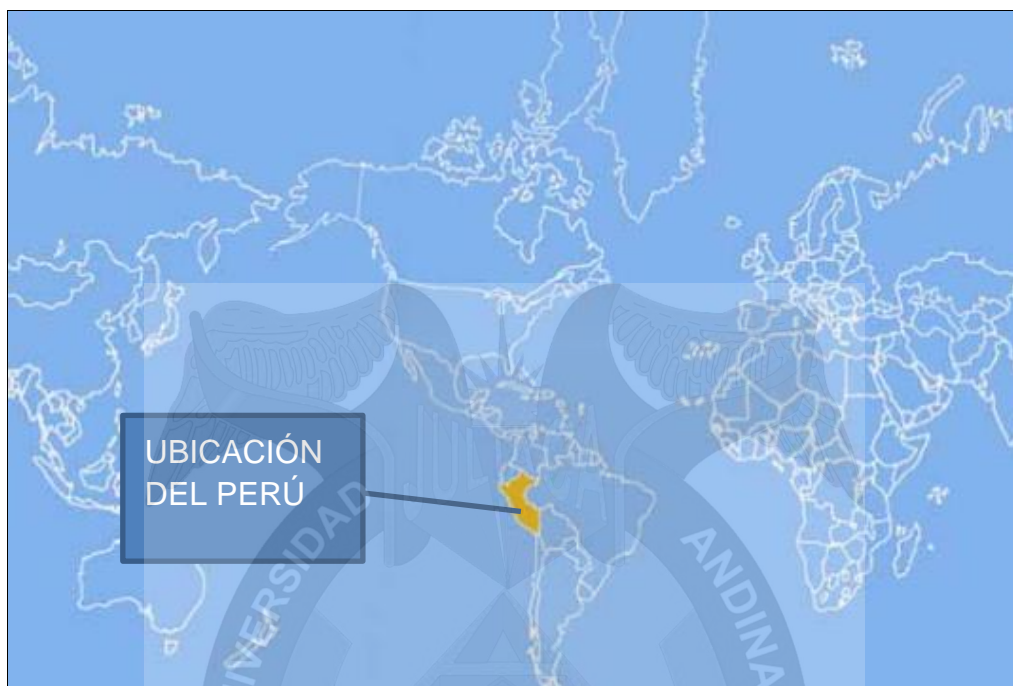


Figura 5. Ubicación geográfica del Perú en el mundo

Fuente: Ministerio de Energía y Minas 2008

En el artículo de Minería Peruana denominada: Contribución al Desarrollo Económico y Social del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2010) indica que: "La minería incaica estuvo circunscrita al oro, plata y cobre, los dos primeros utilizados para adornar templos, casas y personas; y el cobre para herramientas, utensilios y armas" (9).

"En Latinoamérica, el panorama es más favorable; así, el Perú es líder en la producción de los principales metales ocupando el primer lugar en oro, plata, zinc, plomo, estaño, bismuto, indio y telurio; el segundo en cobre, molibdeno y selenio; y el quinto en hierro" (9).

"Según el artículo publicado en Minería peruana: Contribución al Desarrollo Económico y Social, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2010)" (9).

COBRE	■ ■ ■ ■	3er Lugar
ORO	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	6to Lugar
PLATA	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	2do Lugar
ZINC	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	3er Lugar
PLOMO	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	4to Lugar
MOLIBDENO	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	4to Lugar
ESTAÑO	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	4to Lugar

Fuente: Unidades Mineras, Inversión Minera, Empleo Directo en Minería: Ministerio de Energía y Minas (Estadísticas de Producción Anual 2015), Sistema General de Minería, Recursos Transferidos (Canon, regalías y Derecho de Vigencia), Ministerio de Economía y Finanzas, Instituto Minero Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Catastro Minero: INGEMMET

Tabla 2. Ranking mundial de producción minera

Fuente: INGENMET

2.1.7. Lixiviación en pilas o heap leaching

“Las operaciones de lixiviación o heap leaching, corresponde a un proceso hidro-metalúrgico, donde el mineral es procesado tal cual sale de la explotación minera, mediante la fragmentación por la voladura, denominado ROM (Run-of-Mine) y en algunos casos, el mineral que supera el tamaño requerido, requiere pasar por un proceso de chancado antes de ser depositado en el pad de lixiviación” (10).

Para contar con un área de operación de lixiviación, se prepara una plataforma con una adecuada inclinación y con sistemas de drenaje hacia pozas de recuperación de soluciones. La superficie de esta plataforma es impermeabilizada con geomembranas o geosintéticos, del tipo HDPE (Polietileno de alta densidad), geonets y geotextiles.

Las plataformas deben permitir la captación de la solución lixiviada por gravedad en las tuberías de drenaje instaladas en la base de las plataformas para ser descargados por gravedad en las pozas de recuperación de soluciones rica e intermedia respectivamente.

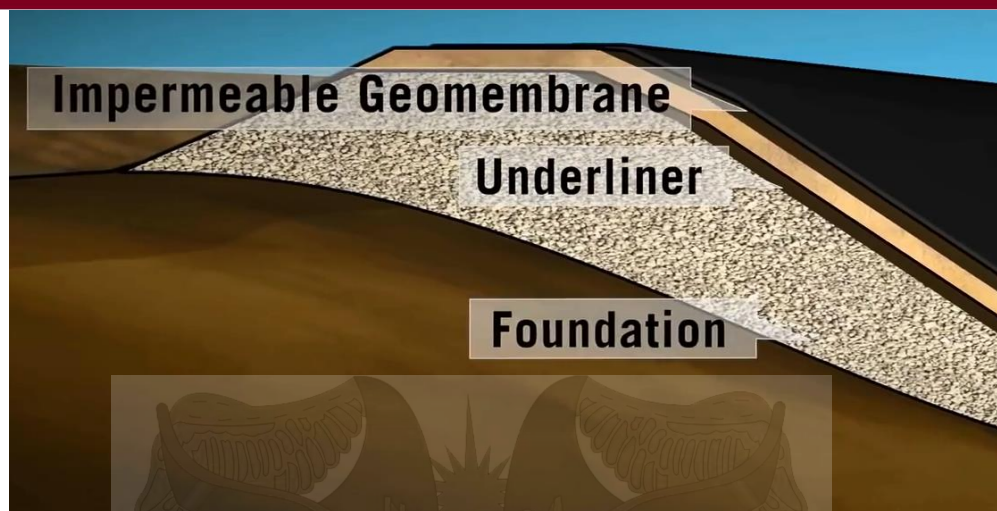


Figura 6. Capas que conforman la base del Pad de lixiviación

Fuente: Heap Leach Proposed Desing, MDM Engineering



Figura 7. Construcción del Pad de Lixiviación

Fuente: Archivos fotográficos-contratista Ajani SAC (2013),

“Sobre la geomembrana se coloca una capa de material llamado over liner, para evitar el deterioro durante la descarga del mineral en la plataforma, una vez que el mineral ha sido depositado en el PAD, previa adición de cal” (10), se instala un sistema de riego por goteo mediante tuberías, empleando el cianuro de sodio como agente lixivante, con una descarga de flujo determinado con pruebas metalúrgicas.

extracción del cobre a mediados del siglo XVIII a partir de los minerales oxidados de yacimientos pórfidos" (1).

"La aplicación para menas de metales preciosos fue sugerida originalmente por la Dirección de Minas de los Estados Unidos en 1967" (1).

"En 1971 la empresa Carlin Gold Mining ya empleaba el método para tratar minerales de baja ley. Estos estudios fueron patentados en Nueva York en 1974" (1).

"Actualmente la lixiviación en pilas es el proceso más usado en la recuperación de minerales con oro diseminado y de baja ley. En 1992, se inicia la bio-oxidación de minerales en pilas, abriendo una nueva oportunidad de tratamiento a los minerales refractarios al proceso de lixiviación en pilas" (1).

1.13. Proceso Merrill Crowe

El proceso **Merrill Crowe** es una técnica de hidrometalurgia para la recuperación de oro y plata a partir de la solución cianurada sometida al riego del mineral que posteriormente es tratada en cuatro etapas muy importantes que son: Clarificación de solución rica, Desoxigenación, Adición de polvo de Zinc, y la Recuperación de precipitado, Zn, Au-Ag por filtración, este proceso es químicamente óptimo y con costos operacionales adecuados.

"El proceso básico fue descubierto y patentado por Charles Merrill Washington en torno a 1900, y posteriormente refinado por Thomas B. Crowe, quien trabajaba para la Compañía Merrill" (11).

2.1.7.1. Clarificación de solución rica.

Es la etapa más importante dentro del proceso Merrill Crowe, una buena clarificación es el factor más importante para obtener una precipitación eficiente, debiéndose remover todos los sólidos suspendidos en la solución enriquecida, incluyendo las suspensiones coloidales.

mantenimiento cuando requieren ser lavados, este tipo de clarificación es de utilidad para soluciones que contengan solamente sólidos suspendidos, los cuales son retenidos por el filtro en forma eficiente. "Los niveles de turbidez de la solución debe ser menor a 1NTU, con el objetivo de maximizar el área de contacto entre el Zn/(Ag+Au)" (12).

La aplicación de la clarificación pre-cubierta con diatomita, colabora en la estabilización de algunos parámetros importantes en la operación tales como:

- "Concentración de oro de la solución enriquecida" (13).
- "Velocidad de flujo de la solución de alimentación" (13).
- "Concentraciones de cianuro de la solución" (13).

Existen factores externos alteran el desarrollo normal del proceso de filtrado tales como la turbidez generada por precipitaciones pluviales en el PAD, esta turbidez causa la saturación temprana de los filtros.

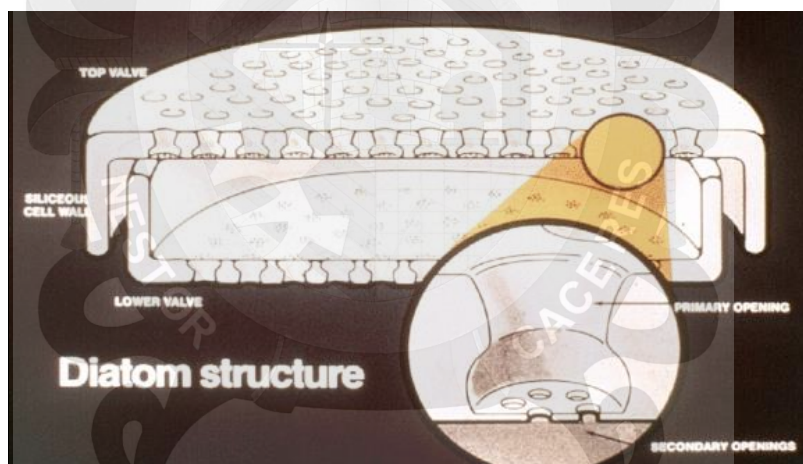


Figura 8. Estructura de una partícula de diatomita

Fuente: <https://documents.tips/documents/proceso-de-recuperacion-merril-crowe.html>

"Se debe tener en mente que la clarificación imperfecta es la causa más frecuente de problemas y que una cuidadosa atención a los detalles de clarificación será recompensada con resultados mejorados en la precipitación, la solución clarificada no debe ser exactamente clara, pero si brillante como la solución despojada vertida de los filtros clarificadores" (13). "Esto puede ser monitoreado mediante la instalación de un

problema en la fase de clarificación" (13)



Figura 9. Filtro Clarificador de hojas

Fuente: Durco Leaf Filtros.

2.1.7.2. Desoxigenación.

“Una precipitación eficiente y completa de los valores metálicos de las soluciones de cianuro requiere de un acondicionamiento posterior a la clarificación, este acondicionamiento consiste en una eliminación completa del oxígeno disuelto, ya que la precipitación completa no puede tomar lugar en presencia de alguna tasa de oxígeno libre” (13).

“La función de esta etapa es la de extraer el oxígeno disuelto de la solución clarificada, para este fin se utiliza un tanque vertical cilíndrica con una dimensión de 1.95 m. de diámetro por 4.5 m, de altura completamente cerrada” (14).

La solución rica clarificada ingresa a la torre de vacío por la parte superior en su caída por el interior de la torre el chorro de solución se esparce y forma espesores de película de solución muy delgadas por efecto de tener que atravesar unos elementos que están empacados en la torre (packing), con el objeto que el vacío creado mediante una bomba, ayude a la remoción del oxígeno disuelto, en la planta ANAMA, se cuenta con 02 bombas de 50HP cada una que trabajan en forma alterna.



Figura 10. Bomba de vacío SIHI

Fuente: Planta Merrill Crowe Anama

“La cantidad de oxígeno disuelto en una solución enriquecida típica varía de 5 a 8 mg/l y debe ser reducida a cerca de 0.5 a 0.1 mg/l, para la producción de buenas soluciones despojadas cuando se utilizan de 0.05 - 0.15 kg de zinc por tonelada de solución” (13).



Figura 11. Torre de desoxigenación

Fuente: Animación de EMC² Consulting S.A.C.



La solución depositada en la parte inferior de la torre de desoxigenación, es extraída por la succión de una bomba centrífuga de 250HP, y en el trayecto de la admisión a la bomba se inyecta la emulsión de zinc como agente precipitante que es preparado en un cono dispuesto para su dosificación, la buena eficiencia de esta operación depende en gran parte del buen desarrollo de las operaciones mencionadas anteriormente, así como del buen cuidado de la alimentación del zinc metálico.

2.1.7.4. Alimentación de polvo de zinc como Precipitante

“La alta eficiencia desarrollada por el proceso de precipitación Merrill Crowe, se debe a la utilización de pequeñas cantidades de zinc, el cual es utilizado para precipitar los metales de las soluciones” **(13)**.

“La forma para la alimentación del polvo de zinc está bien estandarizada, comúnmente se utiliza bandas de alimentación, tornillos sin fin de alimentación o alimentación volumétrica, esta última se caracteriza por llevar a cabo la formación de una dispersión de zinc para su introducción al proceso mediante un cono de disolución” **(13)**.

“La cantidad de zinc requerida varía con la condición de la solución, con la naturaleza y la cantidad de impurezas presentes y los metales a ser precipitados. Sobre menas de oro limpias, el consumo de polvo de zinc varía de 0.01 a 0.03kg por tonelada de solución” **(13)**. Estos valores se incrementaran debido a la presencia de cantidades apreciables de plata y cobre

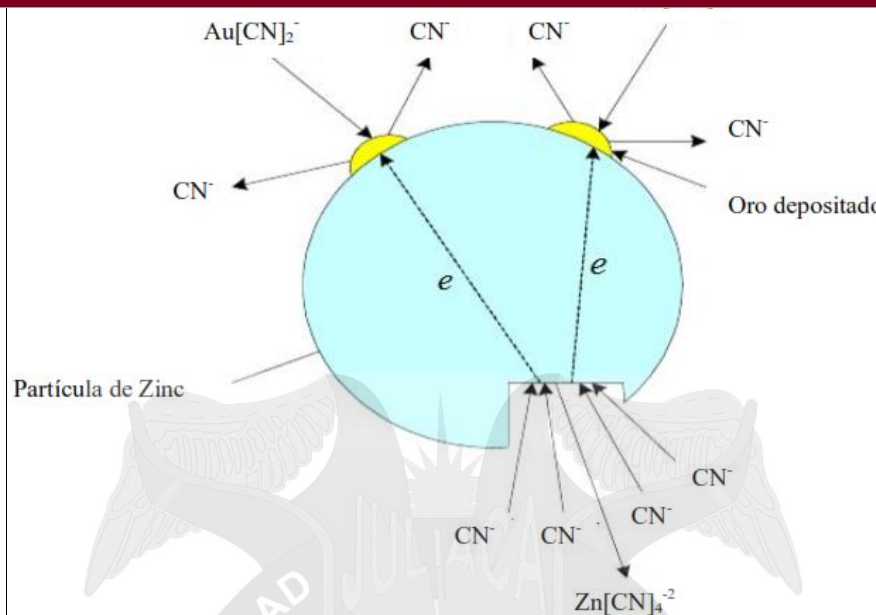


Figura 12. Mecanismo de precipitación de oro por zinc

Fuente: Tesis de Carbajal M. William José (2012)

1.14. Separación del precipitado

“La separación del precipitado de la solución pobre se realiza en los filtros prensa” (15), donde quedan atrapados los sólidos de oro y plata y también el exceso de zinc y otras impurezas, que luego son cuidadosamente procesados en una refinería hasta la obtención de la barra de doré.

La solución que atraviesa el filtro prensa, es llamada solución pobre y es derivado hacia un tanque de almacenamiento denominado tanque de riego, donde se le adiciona una preparación de cianuro disuelto, para reforzar su fuerza y es bombeado hacia la cancha de lixiviación.

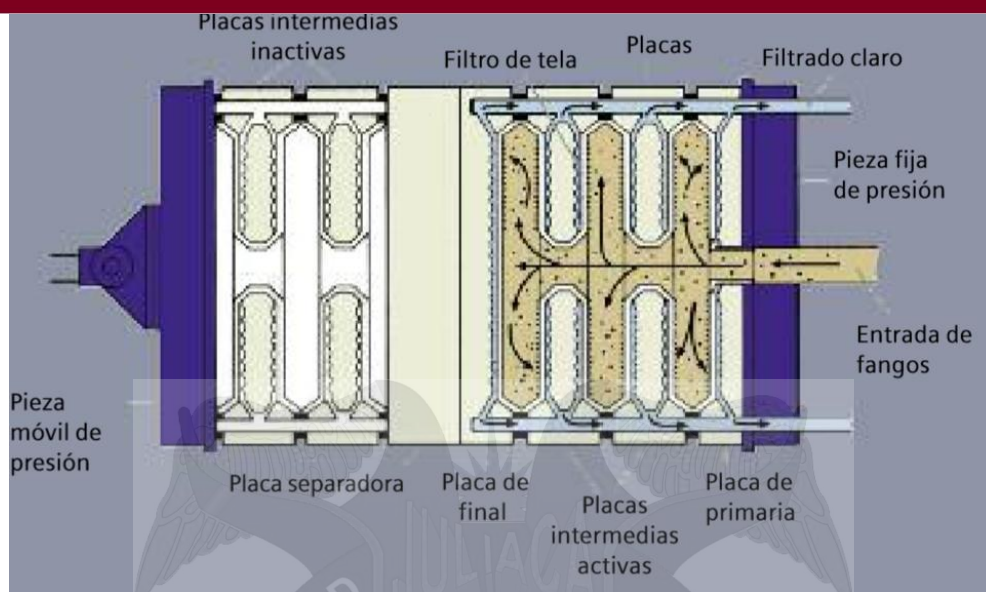


Figura 13. Filtro Prensa,

Fuente: Tesis de Jhon Vicente Chique Acero UNAP (14).

“Cada Filtro Prensa está compuesto de 50 placas o paneles haciendo un total de 49 cámaras por filtro prensa” (16), en la superficie de las lonas que están formando una cámara también es necesario formar una capa filtrante con tierra diatomita utilizando el mismo sistema de precoat de clarificación mediante otra línea y juego de válvulas (16).

“El filtro prensa en operación llega a saturarse de precipitado aproximadamente entre 15 días perdiendo capacidad de flujo, elevando la presión de trabajo hasta 65 PSI donde se requiere el cambio de filtro, quedando este para su respectiva cosecha” (16).

Posteriormente el precipitado cosechado, pasa al área de fundición, donde pasa por el tratamiento de secado en los hornos retorta, ataque químico, y la fundición en el horno de crisol basculante, obteniendo el producto final en barras de doré con 25 Kg.

Los principales parametros que caracterizan al proceso Merrill Crowe son:

- Caudal
- Nivel
- Turbidez
- Oxígeno disuelto

variable	Instrumentos	Unidad	Indicadores	Lugar de muestreo de la variable
Caudal	Caudalímetro	L/min	650m ³ /h	Flujo de ingreso a la torre de vacío
Nivel	Sensor de nivel	H	0 -100cm	Torre de vacío para estabilizarla en una altura de 50cm de solución rica
Turbidez	Turbidímetro	NTU	> 1NTU	Minimizado en los filtros clarificadores
Oxígeno disuelto	Oxímetro	mg/l	> 0.5 mg/l	Línea de salida de la torre de vacío

Tabla 3. Tabla de variables del proceso

Fuente: Elaboración propia

2.1.7.5. Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto o tubería por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

recuperación de oro y plata, de acuerdo al flujo de solución rica que es alimentada a la planta para realizar los cálculos de producción diaria.

$$Q = A \bar{v}$$

Fórmula 1

Dónde:

- Q= Caudal
- A= Área o sección de la tubería
- v= Velocidad del fluido

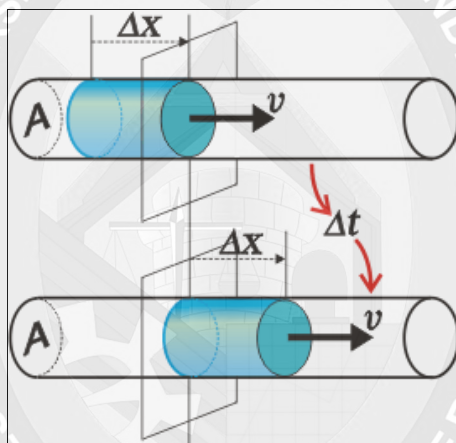


Figura 14. Dinámica del fluido

<https://camivegad.wordpress.com/fisica-decimo/cuarto-periodo-2/>

2.1.7.6. Nivel

El nivel es la variable que determina la verticalidad de un elemento. En este caso el nivel líquidos cuya medición varía en complejidad de acuerdo con la aplicación y su dificultad, en proceso Merrill Crowe, la variable nivel, está presente en todas la etapas de almacenamiento temporal de la solución cianurada, principalmente el nivel de solución clarificada en la torre de vacío y tanque de riego.

En la selección correcta de un instrumento para la medición de nivel intervienen en mayor o menor grado los siguientes factores:

2. Naturaleza del fluido que va a ser medido.

3. Condiciones de operación.

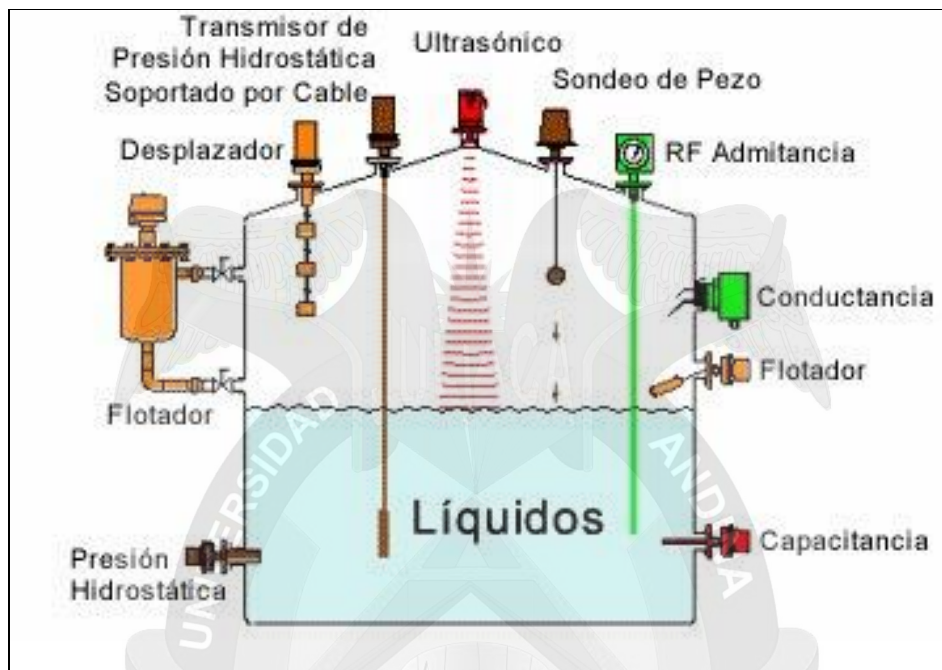


Figura 15. diferentes tipos de medición de nivel

Fuente: <https://www.emaze.com/@AFWCZIQ/Nivel-y-Flujo>

2.1.7.7. Turbidez

La *turbidez* es una medida de la falta de transparencia en la solución proveniente de la lixiviación, debida a la presencia de partículas extrañas. La medida de la turbidez se efectúa para determinar el grado de penetración de la luz en el agua o a su través y permite interpretar, conjuntamente con la luz solar recibida y la cantidad de oxígeno disuelto, el aumento o disminución del material suspendido en el agua. (17)

La turbidez está expresada en unidades arbitrarias llamadas unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Por ejemplo, la solución clarificada en el proceso Merrill Crowe debe ser menor a 1 NTU.

El turbidímetro fue inventado por Jackson. Consiste en un tubo graduado que descansa en un soporte de vidrio, en cuya parte inferior se encuentra una vela encendida (*Jackson candle*). La muestra del agua se introduce lentamente en el tubo hasta que a su

puede medirse de tres formas en forma continua. (17)

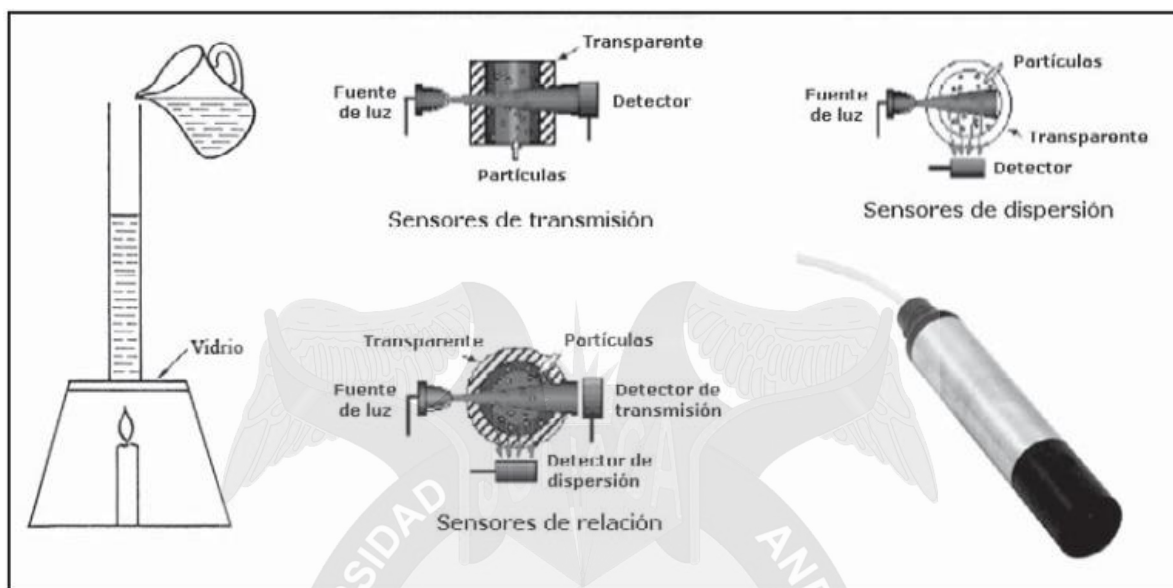


Figura 16. Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación y el turbidímetro Jackson (Jackson candle).

Fuente: Honeywell

2.1.7.8. Oxígeno Disuelto

El *oxígeno disuelto* es la cantidad de oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con el hidrógeno (formando agua) ni con los sólidos existentes en el agua. La cantidad de oxígeno disuelto se mide en mg/l (miligramos de oxígeno por litro de agua), en p.p.m. (partes por millón), o bien, p.p.b. (partes por billón) y en % de saturación (relación entre la cantidad de oxígeno disuelta en el agua y la correspondiente a la saturación). (17) Siendo:

$$ppm = \frac{mg}{l} \times \frac{1}{densidad\ del\ agua\ en\ g/cm^3}$$

Fórmula 2

El oxígeno disuelto se mide con las técnicas galvánicas, electrodo de membrana (polarográfica), equilibrio y luminescente.

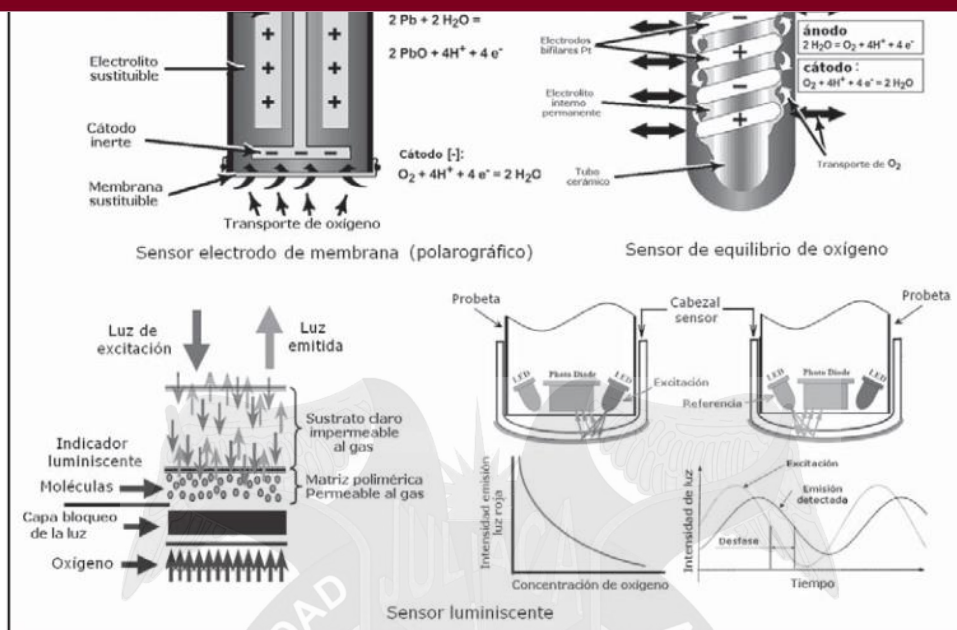


Figura 17. Sensores electrodo de membrana (polarográfico), equilibrio de oxígeno y luminescente

Fuente: Antonio Creus, Instrumentación Industrial

1.16. Automatización industrial

“La automatización Industrial es una disciplina que abarca varias especialidades y que, por lo tanto, recurre a conocimientos y métodos de diversas ciencias de ingeniería. La norma DIN 19223 define un autómata como un sistema artificial que se comporta de determinadas maneras relacionando comandos de entrada con estados del sistema, con el fin de obtener las salidas necesarias para solucionar tareas” (18).

Para configurar procesos automáticos modernos se necesitan tres componentes básicos:

- Sensores para captar los estados del sistema
- Actuadores para emitir los comandos de control
- Unidades de control para la ejecución del programa y para tomar decisiones.

La automatización es uno de los recursos más importantes de la tecnología moderna para mejorar la productividad y la sostenibilidad medio ambiental de las explotaciones mineras, los equipos de automatismos, utilizan productos que facilitan la instalación, el cableado y la conexión de los componentes del automatismo.

Windows, OPC, Profibus y Ethernet, gracias a estas es posible integrar dispositivos y sistemas de terceras partes con los que se pretende interactuar e ingresar a la tecnología de la información, la arquitectura escalable hace que sea posible aplicar esta solución para controlar las funciones y el rendimiento desde equipos de procesamiento de pequeños tamaño hasta aplicaciones de mayor envergadura.

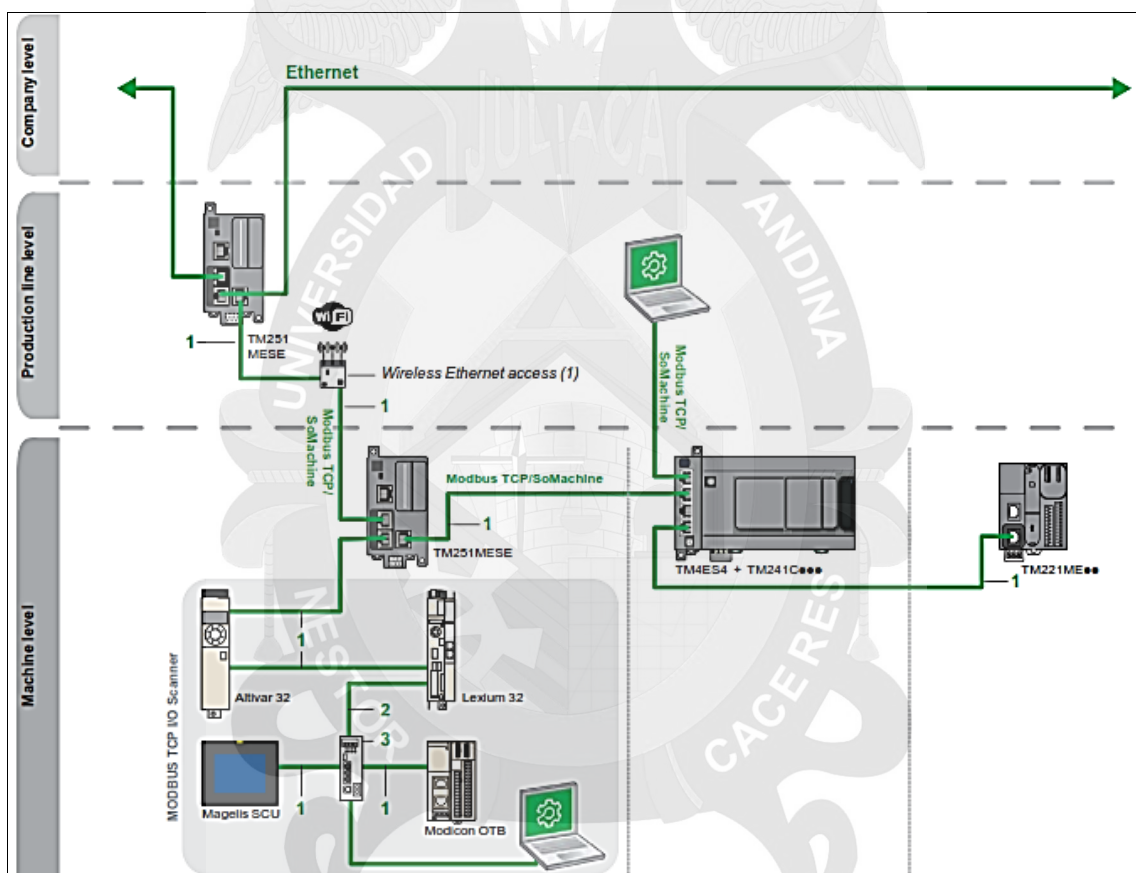


Figura 18. Arquitectura de comunicación en Ethernet network

Fuente: Schneider Electric (2014)

2.1.7.9. Ventajas de la automatización

“Una de las razones principales para el uso de sistemas automatizados fue y sigue siendo la necesidad de producir a costos cada vez menores para ser competitivos” (18). Según el libro técnico de la técnica de la automatización de Festo, se tiene varias ventajas como por ejemplo:

operarios" (18).

- "Se puede producir las 24 horas del día, interrumpiendo los procesos únicamente para realizar trabajos de mantenimiento" (18).
- "En términos generales, las máquinas cometen menos errores que los humanos, por lo que los productos tienen un alto y constante nivel de calidad" (18).
- "Los tiempos de los procesos son menores. Es posible entregar a los clientes más productos en menor tiempo" (18).
- "Gracias a la automatización, los operarios no tiene que hacer trabajos monótonos, pesados y peligrosos o nocivos para la salud" (18).

2.1.7.10. Desventajas de la automatización

La automatización se enfrenta a varias desventajas:

- Eliminación de puestos de trabajo, especialmente aquellos que pueden ocupar trabajadores de bajo nivel de cualificación (en vez de 10 trabajadores no cualificados, se necesita un solo operario cualificado, encargado del servicio técnico).
- La automatización de los procesos de manufactura implica que los operarios tomen decisiones específicas, cuyas consecuencias no puede apreciar en su totalidad debido al carácter complejo de las instalaciones.
- Los costos originados por un sistema automático tienen como consecuencia que los empleados asuman una mayor responsabilidad en relación con la producción de la empresa.

2.1.7.11. Corriente continua y corriente alterna

Uno de los conceptos más importantes en automatización es la electrotecnia, motivo por el cual a continuación se desarrolla los fundamentos esenciales.

“En cualquier circuito eléctrico se aplica una regla muy sencilla: Desde la fuente hacia la unidad consumidora y de regreso. Una corriente eléctrica únicamente puede fluir si el circuito eléctrico está cerrado” (18).

Se puede diferenciar entre corriente continua y corriente alterna:

- Si la tensión en un circuito siempre actúa en un mismo sentido, la corriente siempre fluye en un mismo sentido. En ese caso, se trata de corriente continua, es decir, de un circuito de corriente continua.
- Tratándose de corriente alterna, es decir, de un circuito de corriente alterna, la tensión y la intensidad cambia su sentido y carga en una frecuencia determinada.

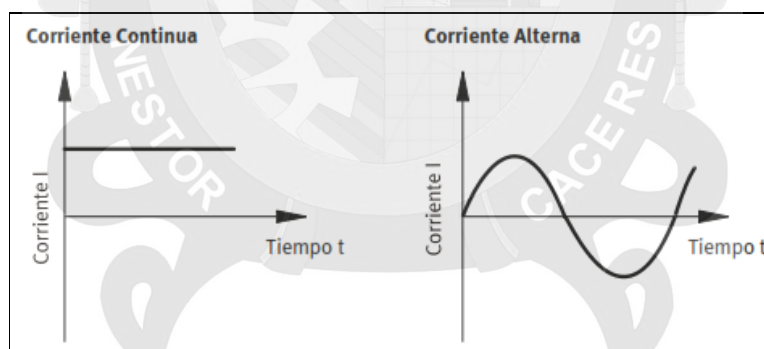


Figura 19, Representación de corriente continua y alterna

Fuente: Fundamentos de la Técnica de Automatización de Festo

“Cerrando el interruptor, fluye una corriente I a través de la unidad consumidora. Los electrones se mueven desde el polo negativo hacia el polo positivo de la fuente de tensión” (18).



Figura 20. Representación de un circuito eléctrico en DC

Fuente: Fundamentos de la Técnica de Automatización de Festo

2.1.7.12. Resistencia eléctrica

“Cualquier material, aunque sea buen conductor, ofrece una resistencia a la corriente eléctrica. Los materiales que ofrecen una gran resistencia al flujo de la corriente eléctrica se llaman aislantes eléctricos” (18).

La ley de Ohm describe la relación entre la tensión, la intensidad y la resistencia, según esta ley, en un circuito eléctrico que tiene una resistencia determinada, la intensidad de la corriente cambia según cambia la tensión, es decir:

$$U = I \cdot R$$

Fórmula 3

Dónde:

U = Tensión Unidad: Voltios (V)

R = Resistencia Unidad: Ohmios (O)

I = Intensidad Unidad: Amperios (A)

2.1.7.13. Potencia Eléctrica

“En la mecánica, la potencia se define en función del trabajo. Cuanto más rápidamente se ejecuta el trabajo, tanto mayor debe ser la potencia. Por lo tanto, potencia significa: trabajo por unidad de tiempo” (18).

Tratándose de una unidad consumidora incluida en un circuito eléctrico, la energía eléctrica se transforma en energía cinética (por ejemplo, movimiento giratorio de un motor eléctrico), en radiación de luz (por ejemplo, lámpara eléctrica) o en energía térmica

energía, tanto mayor es la potencia eléctrica. "Por lo tanto, en este caso potencia significa lo siguiente: energía transformada por unidad de tiempo" (18). La potencia aumenta en la medida en que aumentan la intensidad y la tensión.

La potencia eléctrica de una unidad consumidora también se llama consumo eléctrico.

$$P = I \cdot U$$

Fórmula 4

Dónde:

P = Potencia Unidad: Vatios (W)

U = Tensión Unidad: Voltios (V)

I = Intensidad Unidad: Amperios (A)

1.18. Fundamentos de la Neumática

"La palabra neumática proviene del griego «pneuma» que significa aire o respiración. Bajo neumática se entiende la utilización de aire comprimido o, en general, cualquier sistema técnico que funcione con aire comprimido" (18).

"Las instalaciones neumáticas modernas, utilizadas para la automatización, incluyen varios subsistemas que tienen las siguientes finalidades" (18):

- Generar y alimentar aire comprimido (compresor, unidad de refrigeración, filtro)
- Distribuir aire comprimido (tubos rígidos y flexibles, acoplamientos)
- Controlar el aire comprimido (válvulas de presión, válvulas de vías, válvulas de bloqueo)
- Ejecutar tareas con aire comprimido (cilindros, actuadores giratorios)

"Los actuadores neumáticos tienen la finalidad de transformar la energía contenida en el aire comprimido en energía cinética" (18).

distinguen por existir una gran variedad de tipos, tener construcción robusta, ser fáciles de instalar y además, por tener una favorable relación entre el precio y el rendimiento, gracias a estas ventajas, la neumática se ha impuesto en la tecnología moderna" (18).

Otras ventajas de la neumática: Ver cuadro siguiente.

Características	Ventajas de la neumática
Cantidad	El aire está disponible en casi cualquier parte en cantidades ilimitadas
Transporte	El aire puede transportarse de modo sencillo a largas distancias a través de tubos.
Acumulación	El aire comprimido puede almacenarse en un depósito para utilizarlo posteriormente. Además, pueden utilizarse depósitos transportables.
Temperatura	El aire comprimido es casi insensible a los cambios de temperatura. Por ello, el funcionamiento de los sistemas neumáticos es fiable, también en condiciones extremas.
Seguridad	El aire comprimido no alberga peligro de incendio o explosión.
Pureza	Las fugas de aire comprimido no lubricado no ocasionan contaminación alguna.
Construcción	Los elementos de trabajo tienen una construcción sencilla, por lo que su precio es bajo.
Velocidad	El aire comprimido es un fluido rápido. Con él, los émbolos ejecutan movimientos muy veloces y los tiempos de conmutación son muy cortos.
Seguridad frente a sobrecarga	Las herramientas y los componentes neumáticos pueden soportar esfuerzos hasta que están completamente detenidos, lo que significa que resisten sobrecargas.

Tabla 4. Ventajas de la neumática

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

1.19. Fundamentos físicos de la neumática

El aire es una mezcla de gases y su composición es la siguiente:

- Aprox. 78 % en volumen de nitrógeno
- Aprox. 21 % en volumen de oxígeno

Además, el aire contiene rastros de vapor, dióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

“Para entender mejor las leyes físicas aplicables en el caso del aire, se explican a continuación las unidades correspondientes. Los datos corresponden al «Sistema Internacional de Unidades» que se abrevia con SI” (18).

- **Unidades básicas**

Tamaño	Símbolo en la fórmula	Unidades
Longitud	L	Metro (m)
Masa	M	Kilogramo (kg)
Tiempo	T	Segundo (s)
Temperatura	T	Kelvin (K, $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$)

Tabla 5. Unidades básicas

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

- **Unidades derivadas**

Tamaño	Símbolo en la fórmula	Unidades
Fuerza	F	Newton (N), $1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
Superficie	A	Metros cuadrados (m^2)
Volumen	V	Metros cúbicos (m^3)
Caudal	q V	(m^3/s)
Presión	P	Pascal (Pa) $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$

Tabla 6. Unidades derivadas

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

Las unidades de control son además de los actuadores y los detectores, los componentes más importantes en la automatización, el término de control tiene un significado general que suele utilizar para referirse a equipos que tienen las siguientes funciones:

- Controlar
- Regular
- Vigilar
- Captar datos (de un proceso)
- Comunicar
- Diagnosticar

“En un sentido más estricto se entiende bajo controlar la influencia que se ejerce en el flujo de energía o materiales mediante una o varias señales en una cadena de control abierta (DIN 19226)” (18). “Los sistemas de control con frecuencia se usan para controlar procesos que se ejecutan paso a paso, como por ejemplo, abrir una puerta cuando alguien se encuentra delante de ella o conectar la luz en un pasillo cuando se pulsa el interruptor y desconectarla transcurrido un tiempo determinado” (18).

“Estos tipos de control se caracterizan por su ejecución abierta, lo que significa que la señal controlada de salida (y) no influye en la señal de entrada (x). El sistema de control no puede reaccionar ante posibles interferencias” (18).



Figura 21. Cadena de mando abierto

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

“Un sistema de regulación, por lo contrario, detecta siempre las señales de salida (y) del proceso, las compara con las señales de entrada (x) y, a continuación, regula el proceso con el fin de equiparar automáticamente las señales de salida a las señales de entrada” (18). “Ello significa que un sistema de regulación es un circuito cerrado que sí

continuos, en los que la finalidad consiste en que la señal de salida mantenga un determinado valor" (18).

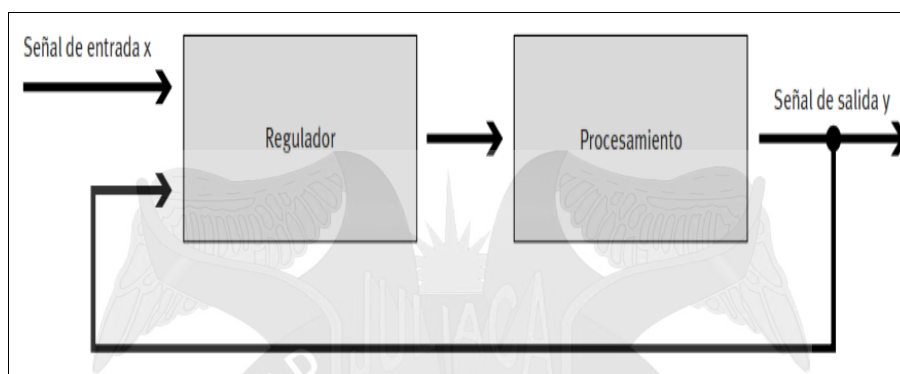


Figura 22. Circuito cerrado de regulación

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

Los procesos industriales a controlar pueden dividirse ampliamente en dos categorías: procesos continuos y procesos discontinuos. En general, en ambos tipos deben mantenerse las variables (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.), bien en un valor deseado fijo, bien en un valor variable con el tiempo de acuerdo con una relación predeterminada, o bien guardando una relación determinada con otra variable. (17)

“El sistema de control que permite este mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable, o condición a controlar, con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operario intervenga en absoluto” (17).

El sistema de control exige pues, para que esta comparación y subsiguiente corrección sean posibles, que se incluya una unidad de medida, una unidad de control, un elemento final de control y el propio proceso. (17)

Este conjunto de unidades forman un bucle o lazo que recibe el nombre de lazo de control, el lazo puede ser abierto o bien cerrado. En el lazo de control abierto de la figura 25, el operador ajusta la válvula manual en la forma que cree conveniente para igualar el caudal del líquido de salida con el de entrada. Si los caudales de entrada y salida son

nivel constante de modo que tendrá que hacer ajustes con frecuencia. (17)

En cambio, en el control de lazo cerrado, una vez ajustada la posición del vástago de la válvula de control con la varilla del índice del flotador, el propio sistema se encargará de mantener el nivel en el punto deseado. Si en algún momento se presentan picos de caudal en la entrada, el nivel aumentará, con lo cual, la válvula de control abrirá para aumentar el caudal de salida y mantener así un nivel controlado, independientemente de la actuación del operador. (17)

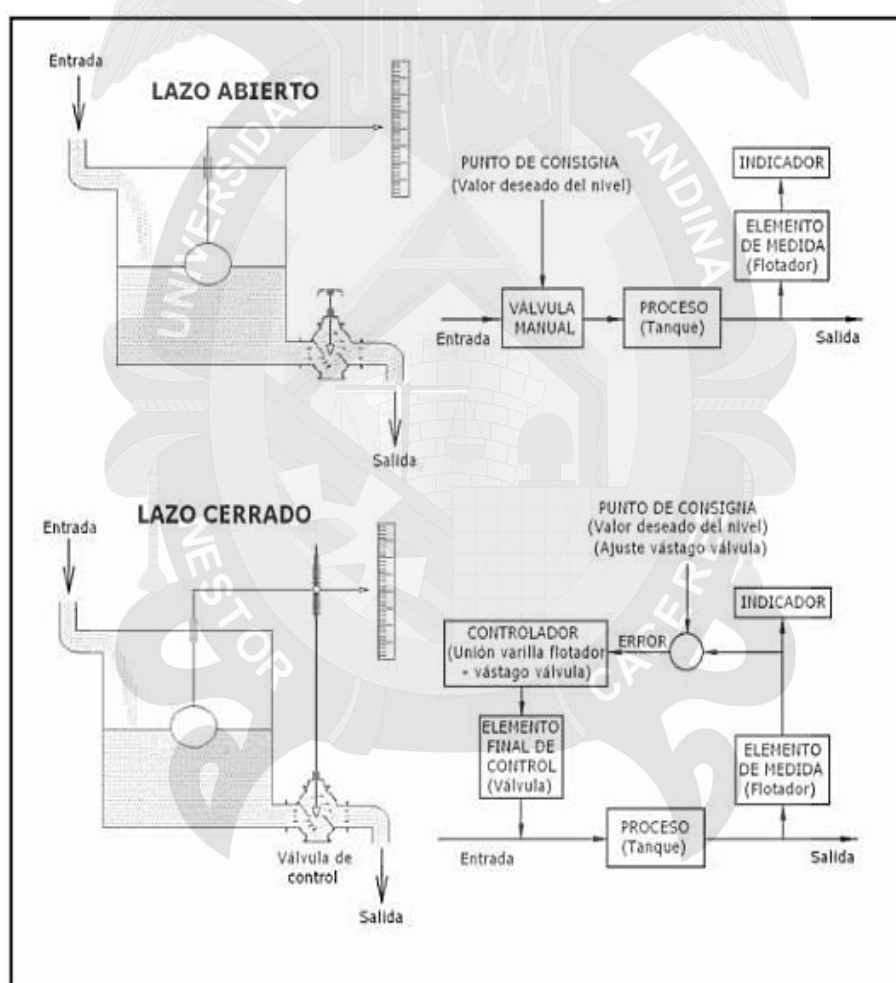


Figura 23. Lazos de control abierto y cerrado

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

2.1.7.13.1.1. Control manual

En principio todos los procesos industriales fueron controlados manualmente por un operador, la labor de este operador consistía en observar lo que está sucediendo y hacia

la habilidad y conocimiento del proceso por parte del operador, sin embargo la recolección de datos requiere de esfuerzos mayores para un operador ya que está dedicando tiempo importante en la atención de los procesos observados así como en la recolección de datos que evidentemente son importantes para un mejor control sobre el proceso, todo esto puede conjugarse en tener datos que pueden ser imprecisos, incompletos y difíciles de manejar.

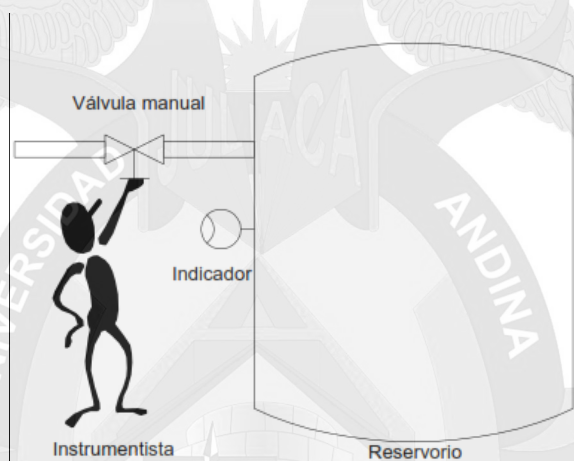


Figura 24. Control manual de válvula

Fuente: Tecsup (2007)

2.1.7.13.1.2. Control automático

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

A diferencia del control manual, se basa en el uso de dispositivos y equipos que conforman un conjunto capaz de tomar decisiones sobre los cambios o ajustes necesarios en un proceso para conseguir los mismos objetivos que en el control manual pero con muchas ventajas adicionales.

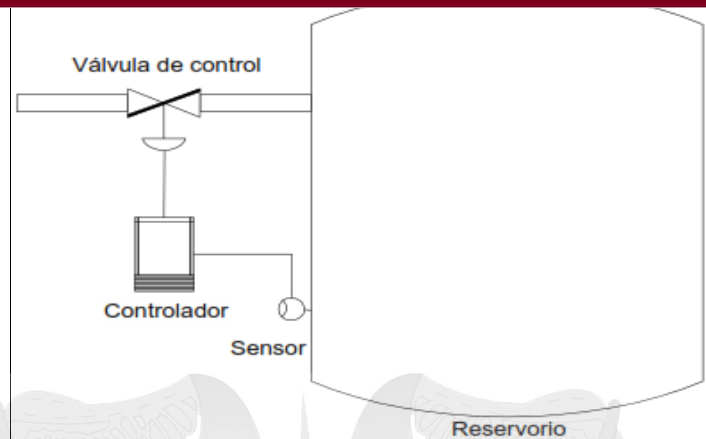


Figura 25. Control automático de válvula

Fuente: Tecsup (2007)

1.21. Definiciones de control

Los instrumentos de control empleados en las industrias de proceso tales como química, petroquímica, alimenticia, metalúrgica, energética, textil, papel, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados que definen las características propias de medida y de control, estáticas y dinámicas de los diversos instrumentos utilizados. (17)

2.1.8. Tipos de control

En los sistemas industriales se emplea, básicamente, uno o una combinación de los siguientes sistemas de control:

- De dos posiciones (todo-nada).
- Proporcional de tiempo variable.
- Proporcional.
- Proporcional + integral.
- Proporcional + derivada.
- Proporcional + integral + derivada.

En la regulación *todo-nada*, la válvula de control adopta únicamente dos posiciones, abierta o cerrada, para un valor único de la variable controlada. Este tipo de control se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada. (17)

El control *todo-nada* funciona satisfactoriamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta y posee un tiempo de retardo mínimo. Se caracteriza porque las dos posiciones extremas de la válvula permiten una entrada y salida de energía al proceso ligeramente superior e inferior, respectivamente, a las necesidades de la operación normal. (17)

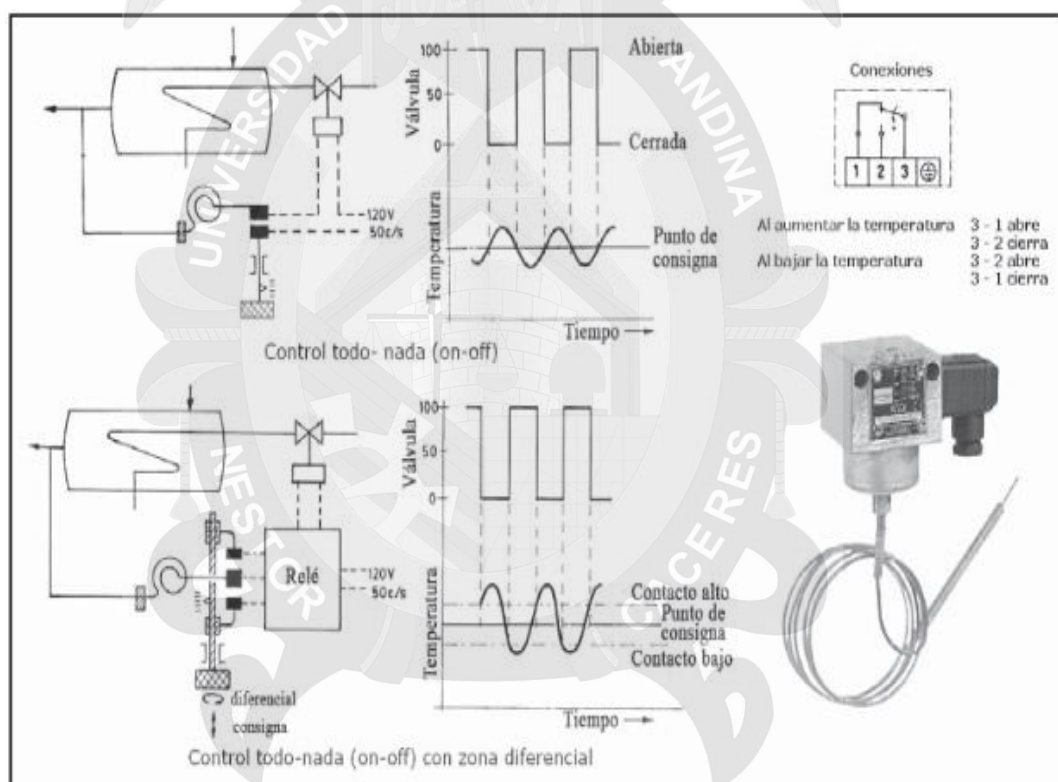


Figura 26. Control todo o nada de termostato Honeywell

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

2.1.8.2. Control proporcional de tiempo variable

En este sistema de regulación existe una relación predeterminada entre el valor de la variable controlada y la posición media en tiempo del elemento final de control de dos posiciones. Es decir, la relación del tiempo de conexión al de desconexión final es proporcional al valor de la variable controlada. (17)

relación entre los tiempos de conexión a desconexión, dentro de cada ciclo, varía al desviarse la variable controlada del punto de consigna. (17)

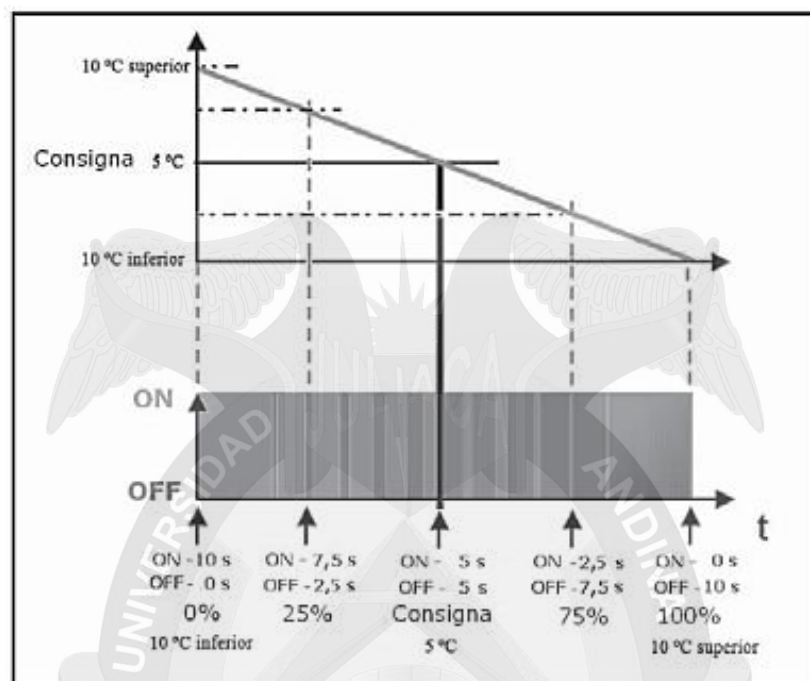


Figura 27. Control proporcional de tiempo variable

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

2.1.8.3. Control proporcional

En el sistema de posición proporcional existe una relación lineal continua entre el valor de la variable Controlada y la posición del elemento final de control. Es decir, la válvula se mueve el mismo valor por cada unidad de desviación, en otras palabras, la posición de la válvula es una copia inversa de la variable controlada.

En la figura 28, se puede ver la forma en que actúa un controlador proporcional cuyo punto de consigna es 50 °C y cuyo intervalo de actuación es de 0 - 100 °C. Cuando la variable controlada está en 0 °C o menos, la válvula está totalmente abierta; a 100 °C o más está totalmente cerrada, y entre 0 y 100 °C la posición de la válvula es proporcional al valor de la variable controlada. Por ejemplo, a 25 °C está abierta en un 75% y a 50 °C en un 50%.

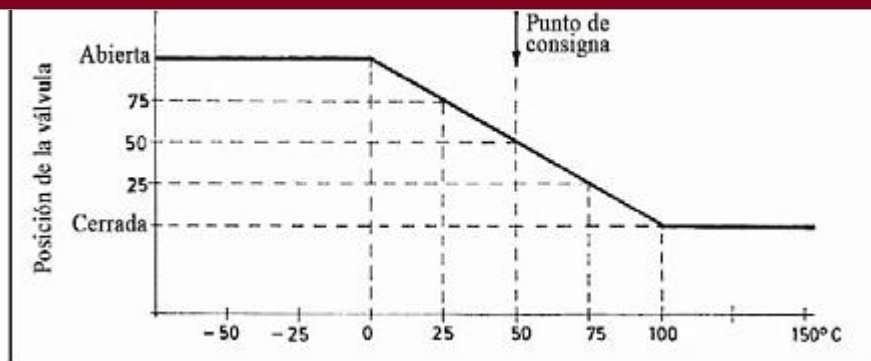


Figura 28. Control proporcional

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

La acción proporcional tiene un inconveniente, que es la desviación permanente de la variable una vez estabilizada con relación al punto de consigna, denominada *OFFSET*. (17)

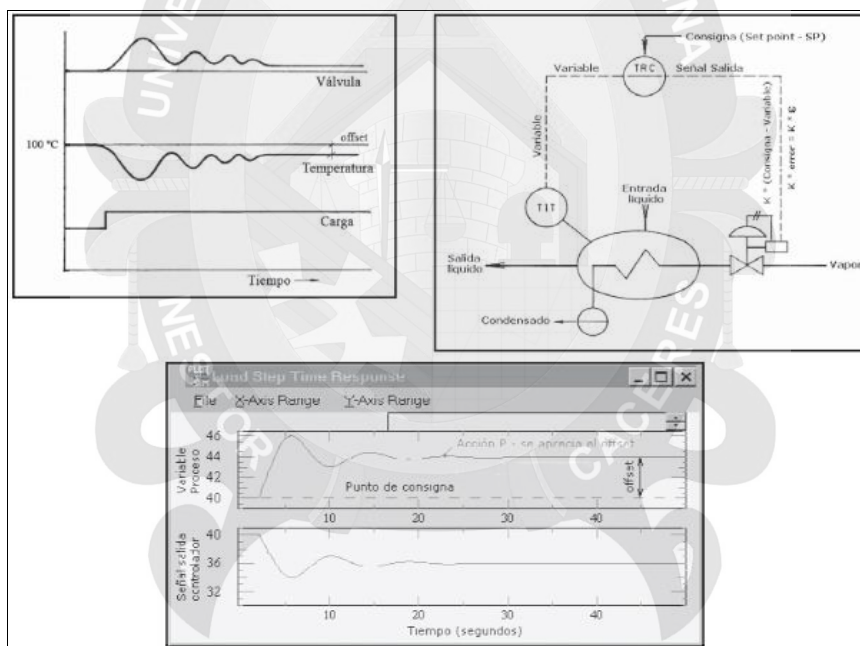


Figura 29. Control proporcional con offset

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

En el control de nivel de un tanque en el que la válvula de control se encuentra en la impulsión de la bomba de descarga del tanque, donde la señal de salida del transmisor de nivel es de 4-20 mA c.c. y llega al controlador electrónico donde se compara con el punto de consigna. (17)

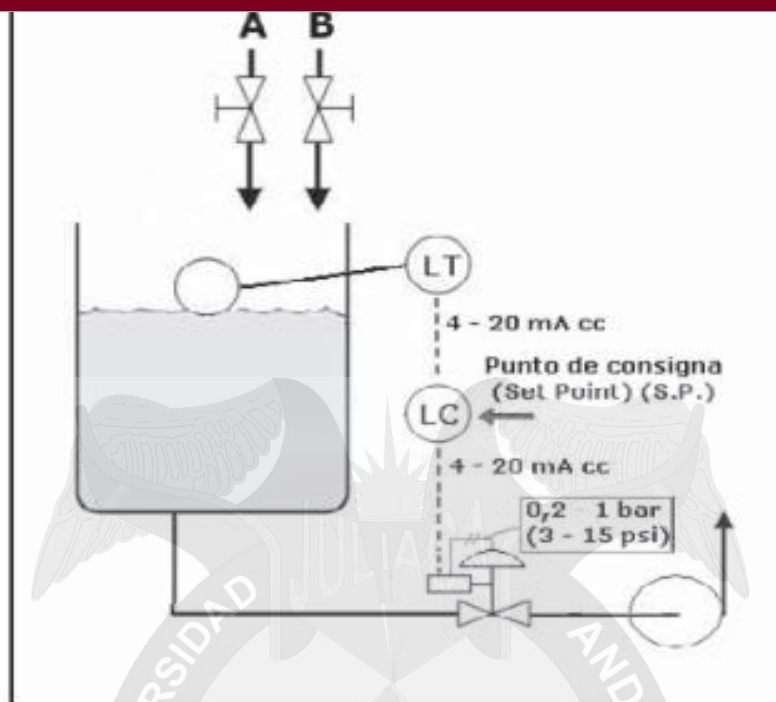


Figura 30. Control electrónico proporcional de un tanque

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

2.1.8.4. Control proporcional + integral

El *control integral* actúa cuando existe una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando dicha desviación en el tiempo y sumándola a la acción de la proporcional.

Se caracteriza por el llamado *tiempo de acción integral en minutos por repetición* (o su inversa *repeticiones por minuto*) que es el tiempo en que, ante una señal en escalón, la válvula repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional. Como esta acción de control se emplea para obviar el inconveniente del *offset* (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la acción proporcional, sólo se utiliza cuando es preciso mantener un valor de la variable que iguale siempre al punto de consigna. (17)

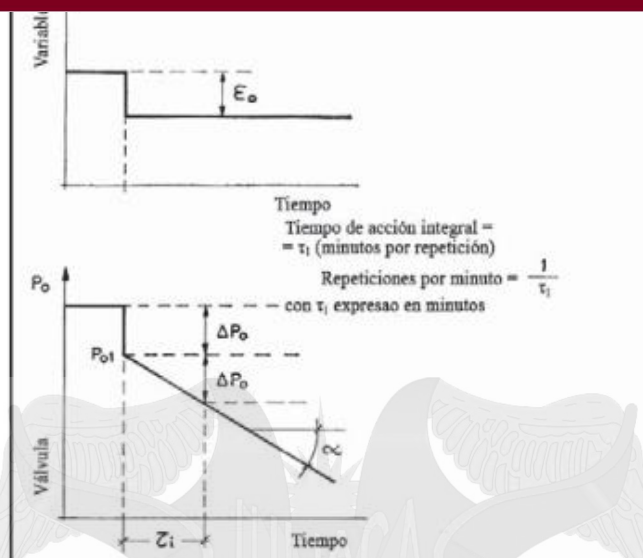


Figura 31. Respuesta a un escalón del controlador PI

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

Una característica particular que presentan los controladores de acción proporcional + integral, en la puesta en marcha del proceso, es el rebasamiento del punto de consigna. (17)

El rebasamiento del punto de consigna se presenta porque la unidad integradora empieza a actuar cuando la temperatura llega al límite inferior de la banda proporcional, y continúa actuando mientras la temperatura no alcance el punto de consigna. (17)

2.1.8.5. Control proporcional + derivado

En la regulación *derivada* existe una relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control. Es decir, el *control derivativo* actúa cuando existen cambios en la variable. Esta actuación es proporcional a la pendiente de la variable, es decir, a su derivada. La acción derivada se caracteriza por el llamado *tiempo de acción derivada* en *minutos de anticipo* que es el intervalo durante el cual, la variación de la señal de salida del controlador, debida a la acción proporcional, iguala a la parte de variación de la señal debida a la acción derivativa cuando se aplica una señal en rampa al instrumento. (17)

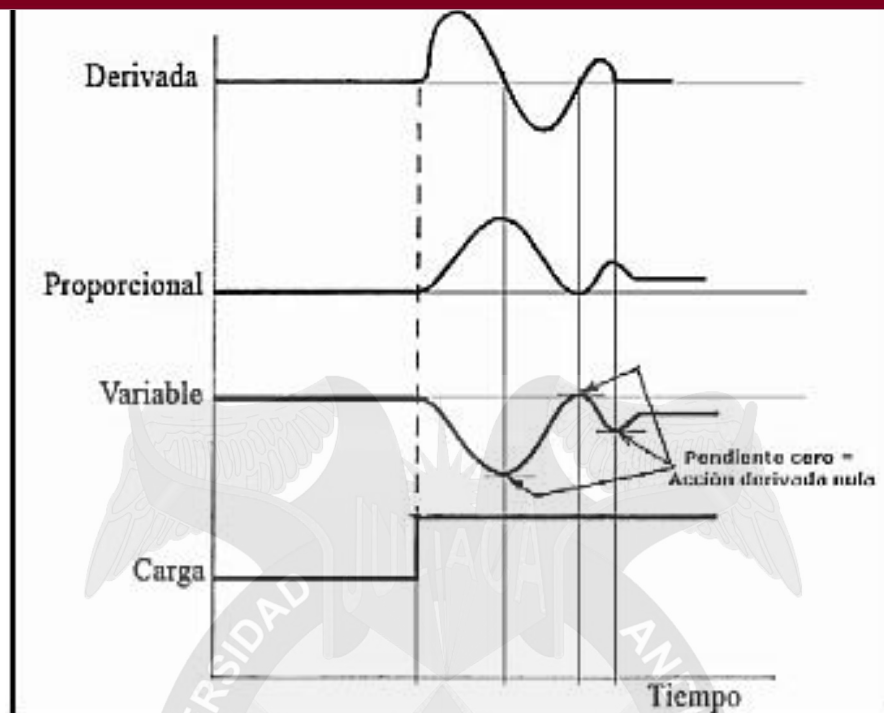


Figura 32. Control proporcional + derivado

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

La aplicación de la acción derivada permite aumentar la ganancia del controlador durante los cambios de la variable, lo que compensa parte del retardo inherente al proceso y permite el uso de una ganancia más grande (banda proporcional más pequeña) con un *offset* menor.

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso y puede emplearse en sistemas con tiempos de retardo considerables porque permite una recuperación rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso. (17)

Ahora bien, la posición anticipada en el tiempo de la válvula de control, que se consigue con la acción derivada, precisa de la detección de cambios en el proceso por parte del controlador. Es como si el conductor de un automóvil, al subir una cuesta, en lugar de apretar el pedal del gas al ver a distancia el cambio de pendiente, sólo lo hiciera cuando observase en él cuenta kilómetros la disminución de velocidad. (17)

La unión en un controlador de las tres acciones *proporcional*, *integral* y *derivativa* (*PID*) forma un instrumento controlador que presenta las siguientes características:

1. La acción **proporcional** cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable con respecto al punto de consigna. Un aumento de la ganancia conduce a una mayor acción proporcional y un control más rápido.
2. La acción **integral** mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación con respecto al punto de consigna. Una disminución del tiempo de acción integral proporciona una mayor acción integral y un control más rápido.
3. La acción **derivada** corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. Un aumento del tiempo de acción derivada incrementa la acción derivada y proporciona un control más rápido. (17)

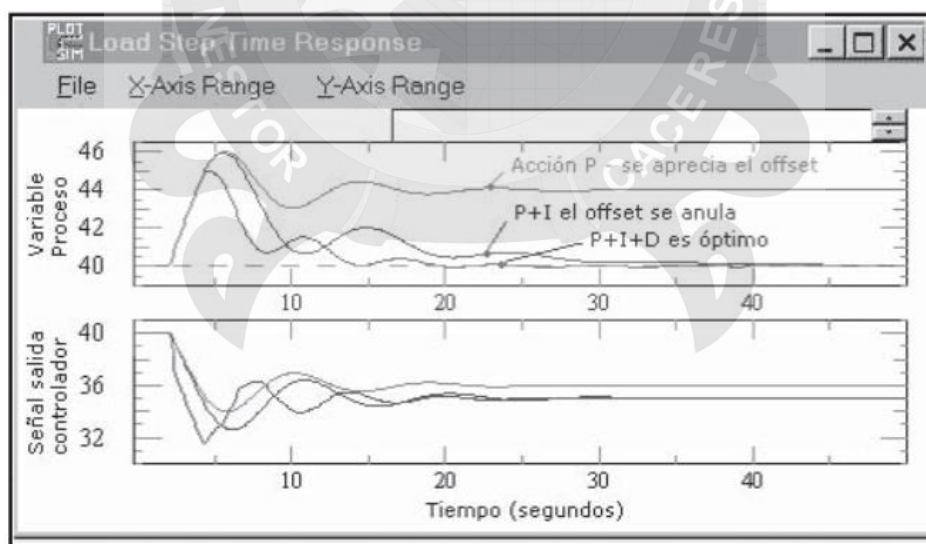


Figura 33. Control proporcional + derivativo+ integral

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus"

La señal que llega a la válvula de control es, en todo momento, la suma de cada una de las señales de las acciones proporcional + integral + derivada del controlador. (17)

2.1.8.7. Datos generales.

“Según lo define la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos un PLC – Programable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos” (19).

Los PLC ofrecen las siguientes ventajas:

- Menor tiempo en la elaboración de bloques lógicos en el software, que el empleo de relés con lógica cableada
- Cableado rápido y sencillo.
- Se puede modificar los programas según requerimiento del proceso.
- Localización de fallas rápida.
- Requiere espacios mínimos para su instalación.

El componente principal de un PLC es el sistema de microprocesadores, mediante la programación del microprocesador se define lo siguiente:

- Se determina las direcciones de entradas (%I0.1, %I0.2, etc.).
- Las salidas (%Q0.1, %Q0.2, etc.) en las que se pondrán las señales correspondientes a los resultados del procesamiento de las señales de entrada.

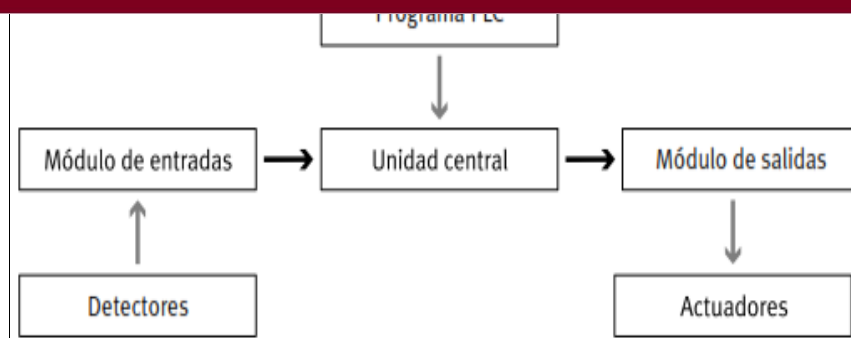


Figura 34. Componentes de un PLC

Fuente: Fundamentos de la técnica de automatización de Festo

Los elementos que componen a un PLC y quienes definen el tipo de equipo, la aplicación correspondiente y adecuada según sus características para diseño, se detallan a continuación:

- 2.1.8.8. Bloque de Entradas.** En él se reciben las señales que proceden de los dispositivos de campo (sensores). Estas son adaptadas y codificadas de forma tal que sean comprendidas por la CPU.
- 2.1.8.9. Bloque de Salidas:** Trabaja de forma inversa al anterior. Interpretando las órdenes de la CPU, las descodifica y las amplifica para enviarlas a los actuadores. También cuenta con una interface para aislar la salida de los circuitos internos.
- 2.1.8.10. Unidad Central de Procesamiento (CPU):** En ella reside la inteligencia del sistema. En función de las instrucciones del usuario (programa) y la señal de las entradas, activa las salidas.
- 2.1.8.11. Fuente de Alimentación:** Adapta la tensión de alimentación de la red (110/60Hz ó 220V/60Hz) a los valores necesarios para los dispositivos electrónicos internos (generalmente 24Vcc y 5Vcc).
- 2.1.8.12. Interfaces:** Son los canales de comunicación con el exterior. Estos equipos externos pueden ser los usados para la programación, otros autómatas, computadores, pantallas de visualización, etc.
- 2.1.8.13. Estructura externa:** Se refiere al aspecto físico y/o exterior del PLC, se basan en diseños compactos y modulares.

instrucciones escritas por el programador. Su capacidad de almacenamiento se mide en Kbyte o en Mbyte y está relacionada con el tamaño máximo de programa que podemos escribir.

2.1.8.15. Unidades de Entrada: Son los dispositivos básicos por donde llega la información de los sensores. Vienen con distintas posibilidades.

- **Analógicas.** Se deben usar cuando la entrada corresponde a una medida de, por ejemplo, temperatura, presión, etc. En su interior tienen un dispositivo que convierte la señal analógica a digital (convertor A/D). Vienen en distintos rangos de tensión e intensidad. (por ejemplo 0 a 10V, 0 a +- 10V, 4 a 20 mA, etc.). La resolución puede ser de 8 o 12 bits.
- **Digitales.** Son las más utilizadas y corresponde a señales on/off. O sea la presencia o no de una tensión (por ejemplo de fines de carrera, termostatos, pulsadores, etc.). Esta tensión puede ser alterna (0-220V, 0-110V) o continua (normalmente 0-24V).

2.1.8.16. Unidades de Salida: Son los bloques básicos que excitarán los actuadores, al igual que las entradas pueden ser analógicas o digitales.

- **Analógicas:** Se deben usar cuando el actuador que se debe activar es analógico (por ejemplo, la válvula con posicionador electro-neumático). En este caso se dispone de un dispositivo interno que realiza el proceso inverso al de las entradas analógicas, un Convertor D/A.
- **Digitales:** Con salida a triac, relé o a transistor, en el caso de salidas a triac, es exclusivamente para corriente alterna, en caso del relé puede ser para continua o alterna y en el caso de salidas a transistor es exclusivamente para continua, en todos los casos soportan corrientes entre 0,5 y 2 A.

2.1.8.17. Lenguajes de Programación: Son las instrucciones con las que se escribe el programa al PLC. Pueden variar según la característica del dispositivo

- **Listado de instrucciones.** Como su nombre lo indica se trata de introducir una lista de instrucciones que debe cumplir el autómata.
- **Símbolos lógicos.** La programación se realiza usando símbolos similares a los usados para las compuertas lógicas y electrónica digital en general.
- **Símbolos de contactos.** Es el más popular y la programación se lleva a cabo usando redes de contactos (Ladder, Grafcet, diagramas de bloques).

2.1.8.18. Equipos o unidades de programación: Son los dispositivos que permiten el ingreso al programa. Son tres los tipos que se disponen:

- **Tipo calculadora.-** Constan de un teclado y un visor (como si fuera una calculadora). En el visor se puede ver una o dos líneas del programa. Son muy útiles para realizar modificaciones o ajustes a la par de la máquina.
- **Consola.-** Son un tipo intermedio entre los anteriores y las PC, permite ver hasta 20 o 30 líneas de programa.
- **PC.-** Normalmente cualquier computadora PC, con el software correspondiente y el interfaz adecuado permite la programación de los PLC. Su utilidad es mayor cuando se trabaja con PLCs que requieren ser programados desde salas de control.

2.1.8.19. Tamaño de los PLC: El tamaño está determinada por lo general según la cantidad de entradas y salidas disponibles. Pudiendo variar si son compactos o modulares con 10 E/S hasta varios cientos. Las denominaciones empleadas son: nano autómatas, micro autómatas, etc.

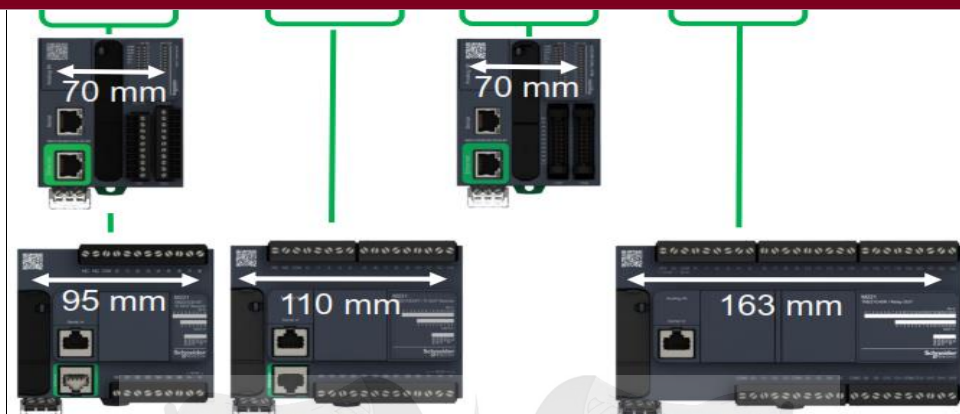


Figura 35. dimensiones de la gama de PLCs Modicon 221

Fuente: InfoPLC.net de Schneider Electric.

1.23. Sistemas SCADA

“En los últimos años, se ha estado desarrollando el sistema denominado SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control And Data Adquisition), por medio del cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta” (20). “Para ello se deben utilizar diversos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc., que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de computador” (20).

1.24. Medidas de caudal

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de caudales de líquidos y gases. “Existen dos tipos de medidores; los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido y los de masa que determinan el caudal masa” (17). “Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante” (17).

	Sistema	Elemento		Transmisor
Medidores volumetricos	Presión diferencial	Placa-Orificio Tobera Tubo venturi Tubo pitot Tubo Annubar	Conectados a tubo en U o a elemento de fuelle o de diafragma	Equilibrio de fuerzas Silicio difundido
	Área variable	Rotámetro		Equilibrio de movimientos Potenciometrico Puente de Impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Sondas ultrasonicas		Potenciométrico Piezoeléctrico	
Fuerza	Placa de impacto		Equilibrio de fuerzas Galgas extensometricas	
Tension inducida	Medidor magnético		Convertidor potenciometrico	
Medidores volumetricos	Desplasamiento positivo	Disco Giratorio Pistón ocilante Pistón alternativo Medidor Rotativo Medidor de paredes deformadas	Cicloidial Birrotor Oval	Generador tacometrico o transductor de impulsos
	Torbellino	Medidor de frecuencia de termistencia, condensador o ultrasonidos Valvula oscilante		Transductor de resistencia
Oscilante			Transductor de impulsos	
Medidores de caudal de masa	Compesación de presion y temperatura en medidores volumetricos			
	Termico			Puente de Wheatstone
	Momento	Diferencia de temperaturas en dos sondas de resistencia Medidor axial Medidor axial de doble turbina		Convertidor de par
	Fuerza de Coriolis	Tubo de vibración		

Tabla 7. Medidores de caudal

Fuente: Instrumentación Industrial "Antonio Creus" (17).

“Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, bien aprovechando características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos” (17).

Según Antonio Creus (17), los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal, Nivel de flotador, magnético, palpador, servo operado y magneto estrictivo, los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática son:

- Medidor manométrico
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

Y los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido son:

- Medidor resistivo/conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radar o microondas
- Medidor de radiación
- Medidor de láser

1.26. Válvula de control

“La válvula de control, es el elemento final de control más usado en la industria. Este dispositivo varía el flujo de material o energía a un proceso, ajustando una abertura a través de la cual fluye el material, es por lo tanto un orificio variable en la línea” (21), según el teorema de Bernoulli el flujo a través de un orificio es:

$$Q = CA (\Delta P)^{1/2}$$

Formula 05

- Q , es la cantidad de flujo.
- C , es una constante para las condiciones del flujo.
- A , es el área de apertura de la válvula.
- ΔP , es la caída de presión a través de la válvula.

Según la fórmula anterior, el flujo a través de la válvula es proporcional al área de apertura y la raíz cuadrada de la caída de presión a través de la válvula. "Ambos factores varían; el área con el porcentaje de carrera (posición) de la válvula y la caída de presión está referida a las condiciones fuera de la válvula y establecida por el proceso (distribución y tuberías)" (22).

2.1.8.20. Tipos de válvulas de control

Existen diversos tipos de cuerpos, que se adaptan a la aplicación. "Teóricamente el tipo debe adoptarse en función de las necesidades del proceso, aunque a veces hay razones, económicas por ejemplo, que obligan a usar un tipo aunque éste no sea el más adecuado" (17).

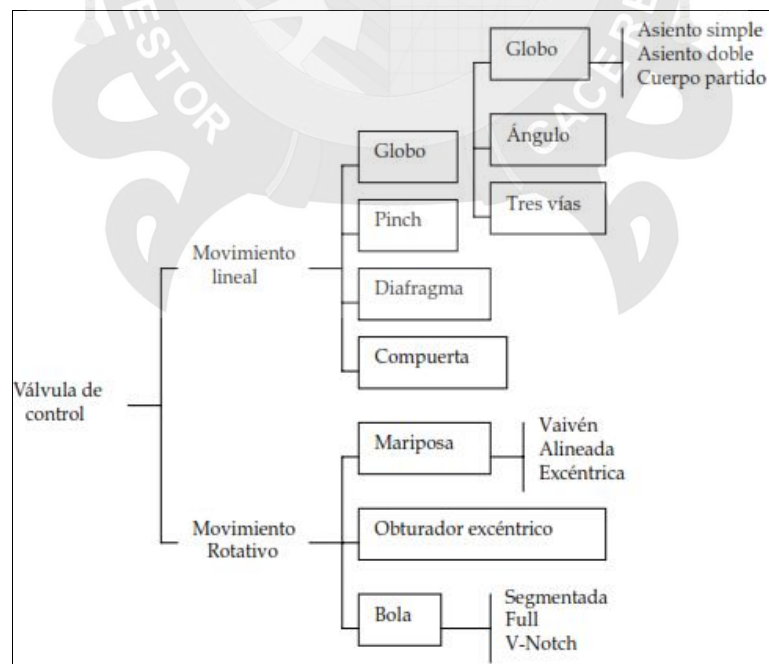


Figura 36. Tipos de válvula de control

Fuente: Actuadores Tecsup (2007)

1.28. Planta

“Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos y cuyo objetivo es efectuar una operación particular” (23).

1.29. Procesos.

El Diccionario Merriam - Webster define un proceso como una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinados; o una operación artificial o voluntaria progresiva que consiste en una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos hacia un resultado o propósito determinados” (24).

1.30. Sistema.

“Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado” (23). Un sistema no necesariamente es físico. El concepto de sistema se aplica a fenómenos abstractos y dinámicos, tales como los que se encuentran en la economía. “Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse como una implicación de sistemas físicos, biológicos, económicos y similares” (24).

1.31. Perturbacion.

Una perturbación es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una perturbación externa se produce fuera del sistema y es una entrada. (24)

El *campo de medida (range)* es el espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida, de recepción o de transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos. (17)

1.33. Alcance

El *alcance (span)* es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. (17)

1.34. Error

“El *error* de la medida es la desviación que presentan las medidas prácticas de una variable de proceso con relación a las medidas teóricas o ideales, como resultado de las imperfecciones de los aparatos y de las variables parásitas que afectan al proceso” (17).

Es decir:

Error = Valor leído en el instrumento - Valor ideal de la variable medida

Cuando una medición se realiza con varios instrumentos, colocados unos a continuación de otros, el valor final de la medición estará constituido por los errores inherentes a cada uno de los instrumentos. (17)

Elementos del lazo	Errores
Diafragma	2%
Transmisor electrónico de 4-20 mA c.c.	0,50%
Receptor electrónico	0,50%
Integrador electrónico	0,50%
Error total de la medición	$\pm\sqrt{2^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.5^2} = 2,18\%$

Tabla 8. Error de medida de caudal

Fuente: Instrumentación Industrial “Antonio Creus” (17).

“La *exactitud* (*accuracy*) es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida” (17).

“En otras palabras, es el grado de conformidad de un valor indicado a un valor estándar aceptado o valor ideal, considerando este valor ideal como si fuera el verdadero” (17).

“La *exactitud* (*accuracy*) define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año)” (17).

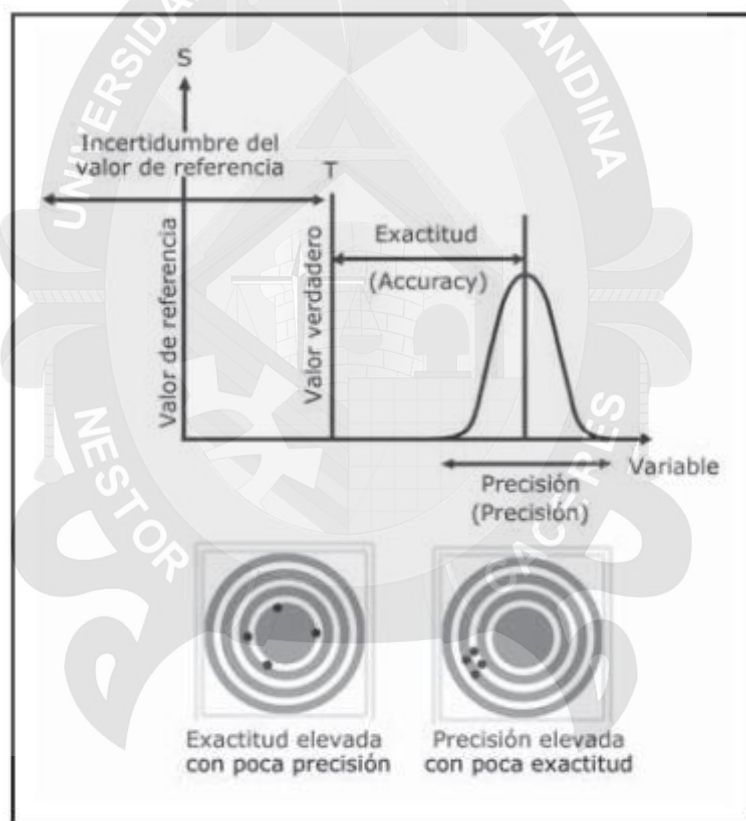


Figura 37. Esquema de diferencia entre Exactitud y precisión

Fuente: Instrumentación Industrial “Antonio Creus”

“La *precisión (precisión)* es la cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de las mismas. Un instrumento puede tener una pobre exactitud, pero una gran precisión” (17).

Por ejemplo, en el libro de Antonio Creus (17), un manómetro de intervalo de medida de 0 a 10 bar, puede tener un error de cero considerable marcando 2 bar sin presión en el proceso y diversas lecturas de 7,049, 7,05, 7,051, 7,052 efectuadas a lo largo del tiempo y en las mismas condiciones de servicio, para una presión del proceso de 5 bar. Tendrá un error práctico de 2 bar, pero los valores leídos estarán muy próximos entre sí con una muy pequeña dispersión máxima de $7,052 - 7,049 = 0,003$, es decir, el instrumento tendrá una gran precisión

1.37. Zona muerta

“La *zona muerta (dead zone o dead band)* es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta” (17). Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida, por ejemplo: En un instrumento de $\pm 0,1\%$, es decir, de $0,1 \times 200/100 = \pm 0,2^\circ\text{C}$.

1.38. Sensibilidad

“La *sensibilidad (sensitivity)* es la razón entre el incremento de la señal de salida o de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo” (17). Por ejemplo, si en un transmisor electrónico de 0-10 bar, la presión pasa de 5 a 5,5 bar y la señal de salida de 11,9 a 12,3 mA c.c., la sensibilidad es el cociente:

$$\frac{(12,3 - 11,9) / (20 \div 4)}{(5,5 - 5) / 10} = \pm 0,5 \text{ mA c.c./bar}$$

Formula 06



instrumento de temperatura de la figura 1.3 es de $\pm 0,05\%$, su valor Será de $0,05 \times 200 = \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.39. Otros términos

2.1.8.21. Fiabilidad

"Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo unas condiciones especificadas" (17).

2.1.8.22. Ruido

"Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseada que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados" (17).

2.1.8.23. Linealidad

"La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada" (17).

2.1.8.24. Vida útil de servicio

"Tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo e intermitente del instrumento sin que se presenten cambios en su comportamiento, más allá de tolerancias especificadas" (17).



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

El presente proyecto de tesis, pertenece al tipo de investigación aplicada en el campo de adecuación tecnológica, el método empleado en este trabajo de investigación es el método experimental, que consiste en someter a un objeto a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos reacciones que se producen (variable dependiente). En la investigación, se identifican los principales factores que determinan la implementación de la planta, se determina la configuración del equipamiento para el control de manera efectiva de la relación de apertura y cierre de la válvula de control con respecto al nivel del tanque vertical o torre de vacío, estos factores se estudian, se controlan, se les altera, y manipulan para observar la respuesta del sistema de control aplicado.

Se considera las siguientes etapas para la ejecución del método experimental:

- a. Realizar las pruebas experimentales del sistema de control e interpretar los valores obtenidos, modificarlo y ajustarlo al requerimiento.
- b. Realizar el experimento operacional para corregir los errores detectados en la prueba y validar la solución al problema.
- c. Analizar los resultados finales, plantear opciones de mejora y elaborar el procedimiento de operación.
- d. Obtener conclusiones.

3.2. Descripción del ámbito de la investigación

A continuación se detalla el ámbito o espacio donde se desarrolla la investigación, que está relacionada a las actividades mineras con la técnica de recuperación de oro mediante el proceso Merrill Crowe.

El desarrollo del presente trabajo de tesis fue efectuada con el fin de mejorar las características de operación de la planta de procesos de la unidad minera ANAMA. "Ubicada entre los cerros Japutani – Chicorone, del distrito de Huaquirca, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, con una altitud promedio entre 4,600 a 4,800 msnm" (25).

ANAMA, cuenta con un sistema diseñada para la explotación del yacimiento aurífero mediante tecnología convencional de lixiviación por pilas, cuya solución es tratada mediante proceso Merrill Crowe, para luego ser secado y fundido hasta la obtención de barras de doré.



Figura 38. Ubicación de la planta de procesos Merrill Crowe ANAMA

Fuente: <http://www.tecnologiaminera.com/tm/biblioteca/articulo.php?id=287>

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población.

La población está conformada por las 05 unidades mineras del grupo Aruntani, donde se cuentan con plantas de Proceso Merrill Crowe de operación manual y cuyos procesos productivos de minería, se realizan mediante el método de tajo abierto, conformada por las etapas de: Exploración, Minado, Carguío - Acarreo de mineral y Lixiviación por pilas.

La muestra fue tomada en la planta de procesos metalúrgicos Merrill Crowe, de la unidad minera ANAMA, específicamente en la etapa de tratamiento de solución clarificada, que trabaja con caudal constante, pero durante el lavado de filtros clarificadores se requiere mantener una columna de nivel de solución estable en la torre de desoxigenación.

La información tomada, está basada en las condiciones de operación manual de la planta hasta el año 2016, donde intervienen alrededor de 15 empleados entre operadores de planta, mecánicos, electricistas y personal de laboratorio químico.

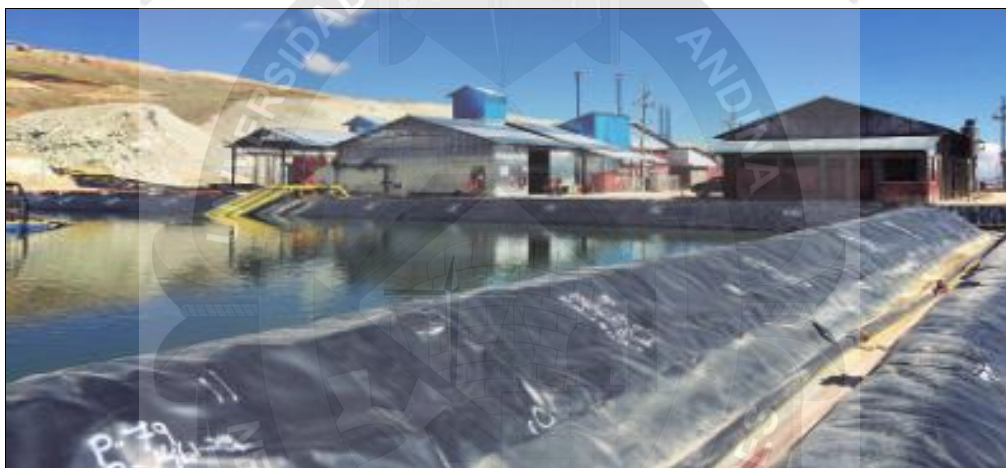


Figura 39. Planta de proceso Merrill Crowe ANAMA

Fuente: Propia

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La recolección de datos se realiza mediante la observación experimental de la operación de planta, para tal efecto se construirá una representación de la planta Merrill Crowe, esta planta será netamente experimental con el fin de realizar las pruebas de arranque de equipos, medición de caudal de la solución rica y un sistema de control automático para estabilizar el nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación, donde se emplea un registro de datos de operación manual y operación con la automatización.

La validez y confiabilidad se basa en la experiencia de la puesta en funcionamiento de la planta, en el modo manual y automático haciendo uso del software de SoMachin Basic 1.5, de Schneider Electric, para la programación del PLC Modicon 221, acompañado del software de Vijeo Designer 6.2, que garantizan una base sólida de registro de datos y validar la solución planteada según las pruebas que se realicen en la operación de la planta Merrill Crowe representativa.

3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos

La recolección de datos se dará mediante la observación de las pruebas de funcionamiento de la planta, con las condiciones de operación manual, donde se evaluará el comportamiento secuencial del proceso, con la intervención del operador, partiendo del arranque independiente de equipos en forma manual desde el tablero eléctrico del centro de control de motores (CCM), observando los motivos de la inestabilidad del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación.

Luego de la evaluación del comportamiento de la planta, con la operación manual, se pondrá el selector del interruptor del tablero en modo automático para a evaluar el comportamiento de la planta con el sistema automatizado siguiendo el siguiente protocolo:

1. Arranque secuencial de equipos.
2. Lectura de caudal de solución clarificada.
3. Prueba de los sensores de nivel bajo y alto instalados.
4. Calibración del sensor de nivel de nivel de la torre de vacío.
5. Pruebas de apertura y cierre porcentual de la válvula de control
6. Pruebas del control automático del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación.
7. Pruebas del disparo de protecciones por sobrecarga.
8. Medición de la demanda máxima de energía eléctrica
9. Pruebas de parada emergencia.



CAPÍTULO IV: INGENIERÍA DEL PROYECTO

La ingeniería del diseño e implementación del sistema automatizado para la etapa de tratamiento de la solución clarificada en el proceso Merrill Crowe, está orientada al cumplimiento de los objetivos planteados, para tal efecto se diseñará e implementará la planta experimental con dimensiones que permita su transportabilidad, donde podremos realizar las pruebas de medición del caudal de solución clarificada y el control automático del nivel de solución en la torre de desoxigenación, cabe mencionar que, el riego de mineral estará representado por una recirculación directa a las pozas de operaciones e intermedia.

4.2. Proceso Merrill Crowe

Para describir el proceso de la planta, se cuenta con la representación del diagrama de procesos (P&ID), donde se identifican los componentes de la planta, el sentido de flujo y equipamiento a implementar. El proceso Merrill Crowe, se representa desde la captación de solución rica, filtrado de la solución rica, desoxigenación de la solución rica clarificada, dosificación de Zinc en polvo, filtrado del precipitado de Oro y Plata; la solución filtrada termina en el tanque de riego, para ser bombeada al pad de lixiviación, para el riego de mineral en forma de goteo que pasado un tiempo determinado, la solución con contenido de oro retorna por gravedad a las pozas de solución rica o intermedia.

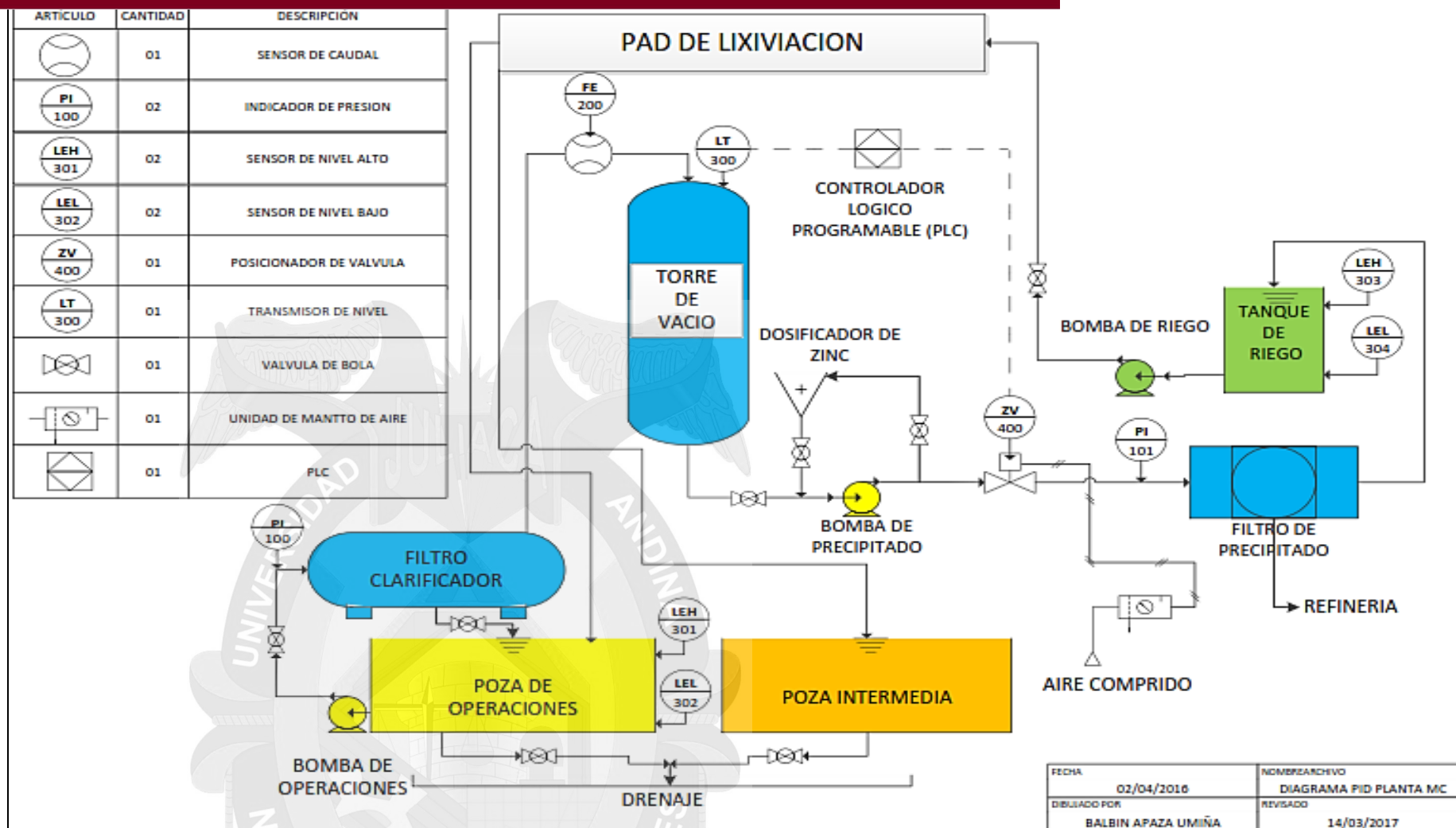


Figura 40. Diagrama de proceso de la planta a implementar

Fuente: Elaboración propia

los símbolos de la instrumentación está dada según la norma ISA (Instrument Society of America) La aplicación de la simbología de instrumentación, medición y control de procesos, identifican la ubicación y la función que cumplen bajo e siguiente criterio:

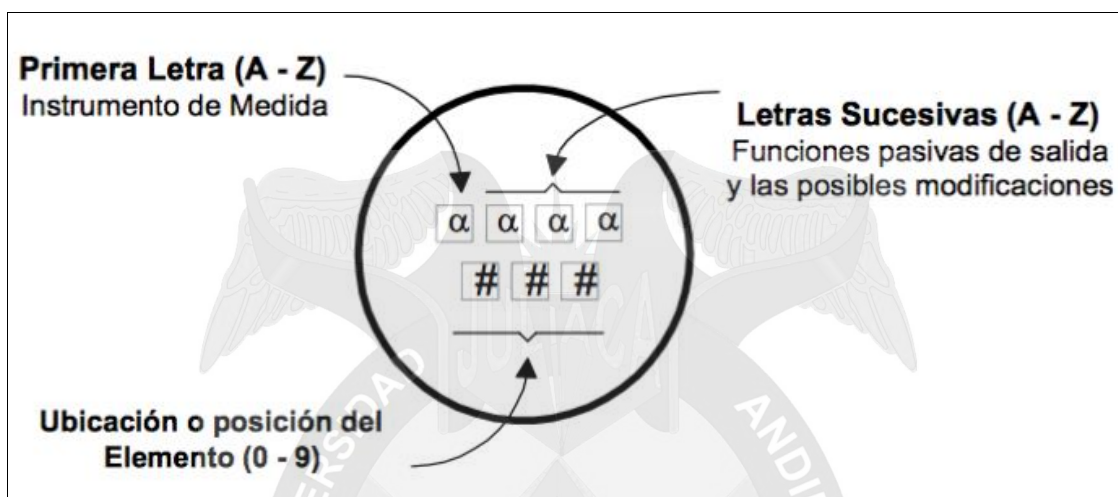


Figura 41, Identificación funcional de los símbolos de instrumentación

Fuente: ISA (Instrument Society of America)

ITEM	TAG		DESCRIPCION
	CODIGO	NUMERO	
1	PI	100	Indicador de presión manométrica en la línea de solución rica
2	PI	101	Indicador de presión manométrica en la línea de precipitación
3	FE	200	Sensor de caudal en la línea de solución rica
4	LT	300	Transmisor de nivel de solución en la torre de desoxigenación
5	LEH	301	Sensor de nivel alto de solución rica de la poza
6	LEL	302	Sensor de nivel bajo de solución rica de la poza
7	LEH	303	Sensor de nivel alto de solución rica del tanque de riego
8	LEL	304	Sensor de nivel bajo de solución rica del tanque de riego
9	ZV	400	Posicionador de la válvula en la línea de precipitación

Tabla 9. Cuadro de codificación de instrumentos del diagrama P&ID

Fuente: Elaboración propia

La identificación de los símbolos y elementos en el diagrama debe ser alfa numérica, los números representan la ubicación, estableciendo el lazo de identidad y la codificación alfabética, indica el instrumento así como las acciones que realiza según la tabla de identificación de la norma ISA, que se plantea para la instrumentación industrial.

4.3.1. Diseño

El diseño de la planta, parte de la observación y análisis del proceso Merrill Crowe, identificando el principio básico de funcionamiento en un sistema continuo de recuperación de oro, para tal efecto se evalúa la ubicación adecuada de cada componente y el dimensionamiento según una determinada capacidad de producción que va directamente relacionado a la cantidad de flujo que se puede recircular por la planta.

4.3.1.1. Sistema de bombeo de soluciones

En esta etapa se analiza el requerimiento de los equipos de bombeo necesarios para contar con un sistema de recirculación de la solución rica y la solución estéril, se tendrá que considerar los depósitos adecuados para el almacenamiento de la solución, filtros, tubería y accesorios necesarios para la correcta operación de forma manual y automática en caso del control de nivel de la torre de desoxigenación.

4.3.1.1.1. Cálculo del caudal de agua

El cálculo del caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$Q = v * A$$

Formula 07

Dónde:

- Q es el **caudal** (m³/s)
- v es la **velocidad** (m/s)
- A es el área de la sección transversal de la **tubería** (m²)

El cálculo de caudales se basa en el **Principio de Bernoulli** que, para un líquido que fluye en un conducto sin rozamiento, se expresa como:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = \text{constante}$$

Formula 08

Dónde:

- **z**, es el valor de posición del líquido (de su centroide), respecto a un sistema de coordenadas. Se le conoce también como altura de posición.
- **g**, es el valor de la **aceleración de la gravedad**.
- **p**, es el valor de la **densidad** del líquido.
- **P**, es el valor de la **presión** del líquido confinado dentro de la tubería.

4.3.1.1.2. Cálculo de velocidad del fluido

La expresión que relaciona la velocidad del fluido (v) con el gasto o caudal (Q) es la siguiente:

$$Q = v \cdot A$$

Formula 09

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$

Dónde:

Q, es el caudal volumétrico o flujo de agua que circula por la tubería;

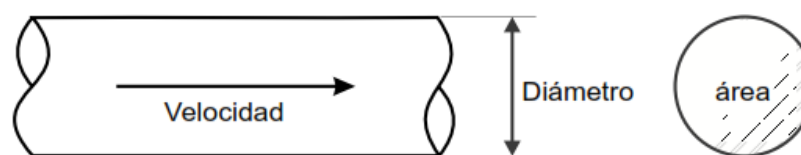
v, es la velocidad del agua en el interior de la tubería;

A, es el área de la sección interna de la tubería ($\pi \cdot D^2 / 4$), siendo D el diámetro interior de la tubería.

Por lo tanto, sustituyendo y despejando (v) de la expresión anterior, el valor de la velocidad (v) del agua que discurre por el interior de una tubería también puede ser expresada en función del caudal (Q) y del diámetro interior (D) de la tubería, como:

A

Formula 10



Realizado los cálculos anteriormente mencionados, se tiene el siguiente cuadro resumen, que nos ayudara a seleccionar la electrobomba para la circulación de solución rica y solución estéril de la planta.

Datos de cálculo	Valores	Unidad
Caudal del sistema de bombeo	22	L/min
	0.37	L/s
	0.00037	m ³ /s
	1.32	m ³ /h
Área de tubería de impulsión	530.93	mm ²
	0.53	m ²
Velocidad	0.00069	m/s
Diámetro int. de la tubería	26.00	Mm
Altura máx.	1.80	M

Tabla 10. Tabla de relación de valores de la fórmula de caudal

Fuente: Elaboración propia

Haciendo una revisión de los fabricantes de electrobombas nos encontramos con los datos de funcionamiento de las bombas con rodete periférico de aspiración central, que es la más aproximada a nuestras necesidades.

MODELO BOMBA		POTENCIA		Q m³/h l/min	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	5	10	15	20	25	30	35	40	50
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	H m	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5	
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5	
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40
—	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50

H = ALTURA MANOMETRICA TOTAL EN METROS
Q = CAUDAL

Tabla 11. Datos de funcionamiento de las bombas periféricas

Fuente: Electrobombas Pedrollo modelo PK

4.3.1.2. Estructura mecánica

El diseño de la estructura fue elaborado con el software de diseño Auto CAD, y modelado con software de SolidWork, gracias al apoyo de estos programas de diseño asistido por computadora se puede trabajar con la opción de miembro estructural donde podemos asignar el tipo de material de la estructura, opción de soldadura y la simulación de cargas asignadas.

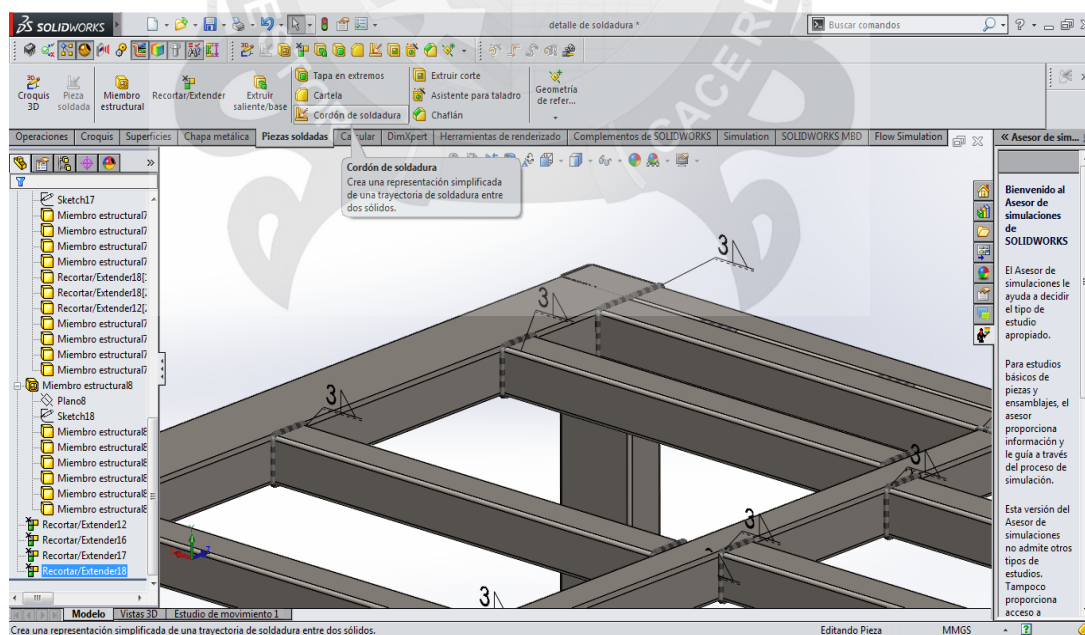


Figura 42. Diseño en SolidWork, asignación del cordón de soldadura

Fuente: Elaboración Propia

- Distribución de carga y de los componentes de la planta
- Dimensiones y ubicación de las bombas periféricas
- Dimensiones y ubicación de los reservorios
- Dimensiones de los tableros eléctricos
- Distribución de tuberías y accesorios

4.3.1.2.1. **Calculo estructural**

Para el cálculo de la estructura de perfil tubular, se utilizó el software de análisis y diseño estructural, que ofrece el Soliworks

El análisis de la estructura se ha realizado considerando la suma de cargas de diseño, conocidas como carga permanente o muerta (D), que incluye el peso propio de la estructura y carga viva (L), que considera las cargas de los componentes de la planta que alojara la estructura, además las cargas de montaje o proceso constructivo. El diseño de la estructura considera las características y dimensiones del material, así como la soldadura en cada unión o junta.

ANÁLISIS DE PESO DEL PERFIL TUBULAR							
TUBO	DIAMETR O NOMINAL	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	ESPESO R	AREA(mm 2)	VOLUME N (mm3)	DENSIDAD ACERO (KG/M3)	PESO KG/M
Cuadrado	3/4"	26.941	0.9	68.58	68.58	7850	0.5384
Cuadrado	1"	35.921	0.9	91.44	91.44	7850	0.7178
Rectangular	1 - 1/2"	56.796	0.9	137.16	137.16	7850	1.0767

Tabla 12. Análisis de peso de perfil tubular

Fuente: Elaboración propia



Dimensión	Espesores (mm)							
	0.6	0.7	0.75	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5
REDONDO	1/2"	0.179	0.207	0.221	0.235	0.262	0.289	
	5/8"	0.226	0.262	0.280	0.298	0.332	0.367	0.434
	3/4"	0.273	0.317	0.338	0.360	0.403	0.445	0.528
	7/8"		0.372	0.397	0.423	0.473	0.523	0.622
	1"			0.456	0.485	0.544	0.602	0.716
	1 1/4"			0.611	0.685	0.758	0.904	1.119
	1 1/2"			0.736	0.826	0.915	1.092	1.354
	1 3/4"			0.861	0.967	1.072	1.280	1.589
	2"			1.038	1.166	1.286	1.468	1.824
	3"						2.220	
CUAD.	5/8"		0.319	0.341	0.363	0.406	0.449	0.533
	3/4"	0.342		0.425	0.455	0.507	0.560	0.666
	7/8"	0.429		0.515	0.548	0.614	0.680	0.810
	1"	0.459		0.572	0.609	0.683	0.756	0.901
	1 1/4"			0.718	0.765	0.858	0.951	1.148
RECT.	1 1/2"				0.920	1.035	1.149	1.371
	1/2" x 1 1/2"			0.573	0.615	0.689	0.761	0.910
	1" x 2"			0.865	0.928	1.042	1.155	1.381

NORMA TÉCNICA DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones y espesores se fabrican según la Norma ASTM A513 Tipo 2.

DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en frío (LAF), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW).

Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

PRESENTACIÓN:

Longitud : 6 m. Otras longitudes a pedido.
Acabado de extremos : Refrentado (plano), limpio de rebordes.
Recubrimiento : Aceitado.

USOS:

Tubo para estructuras ligeras, muebles, cerrajería en general y usos ornamentales.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES:

Espesor : Según Norma ASTM A513
Longitud : + 20 mm, - 5 mm

Rectitud:

•Redondo : Variación máxima 0.76 mm/m
•Cuadrado y Rectangular : Variación máxima 1.70 mm/m

Tabla 13. Tabla de características de los tubos de la estructura

Fuente: Catálogo de productos Aceros Arequipa

El diseño de la estructura es sometida al análisis de carga externas en el simulador de Solidworks, asignando cargas de 30 y 50 kgf, por elemento (por viga de perfil tubular), obteniendo los siguientes resultados:

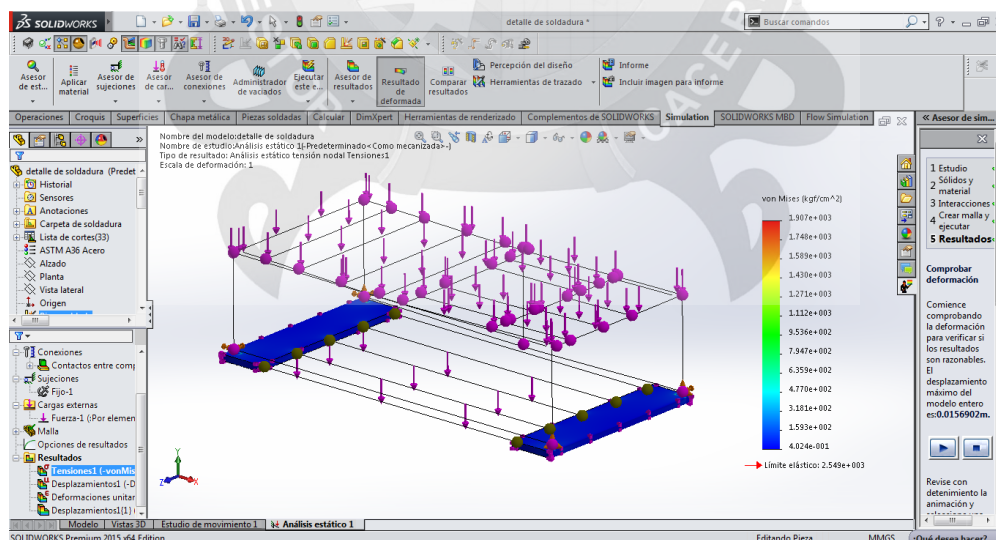


Figura 43. Simulación de tensión von Mises - SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

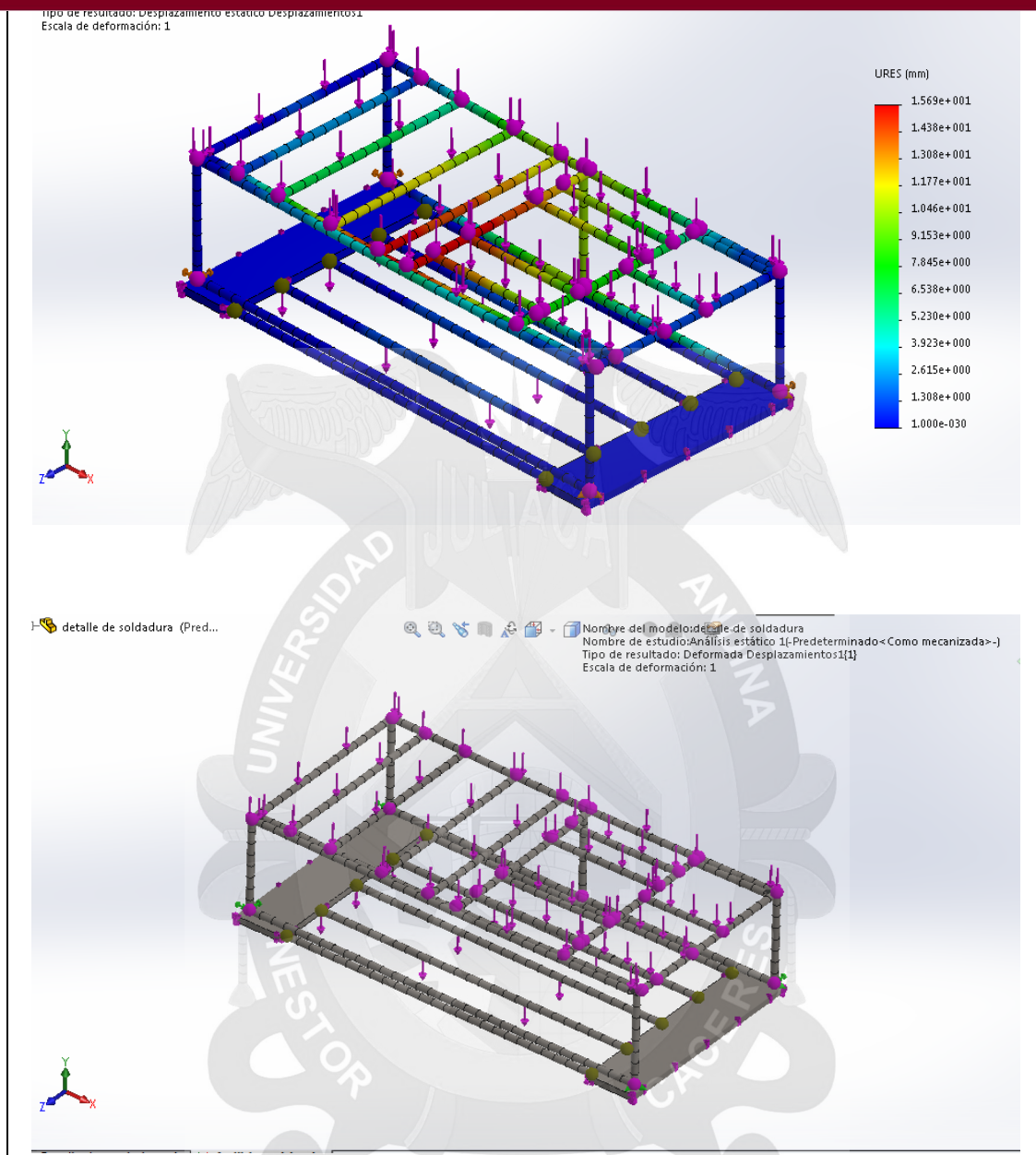


Figura 44. Simulaciones de desplazamiento y deformación

Fuente: Elaboración propia

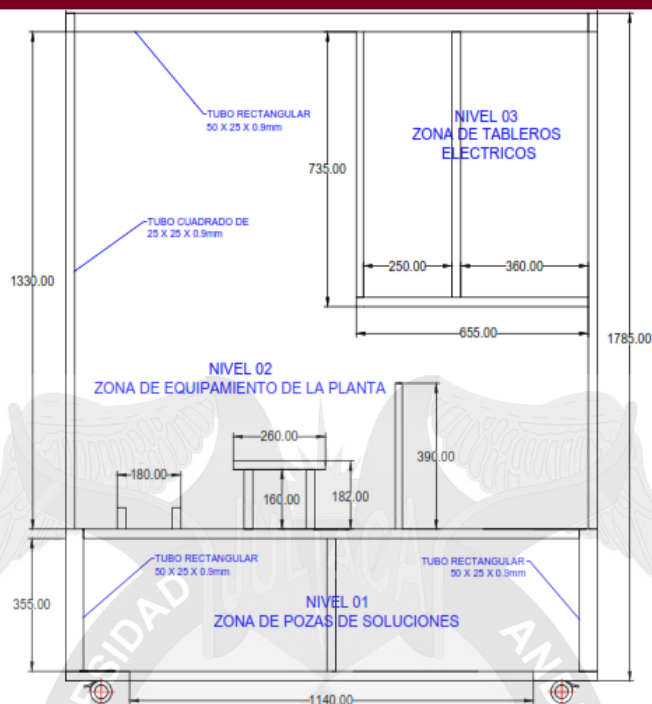


Figura 45. Dimensiones de la estructura metálica de la planta (Vista Frontal)

Elaboración propia

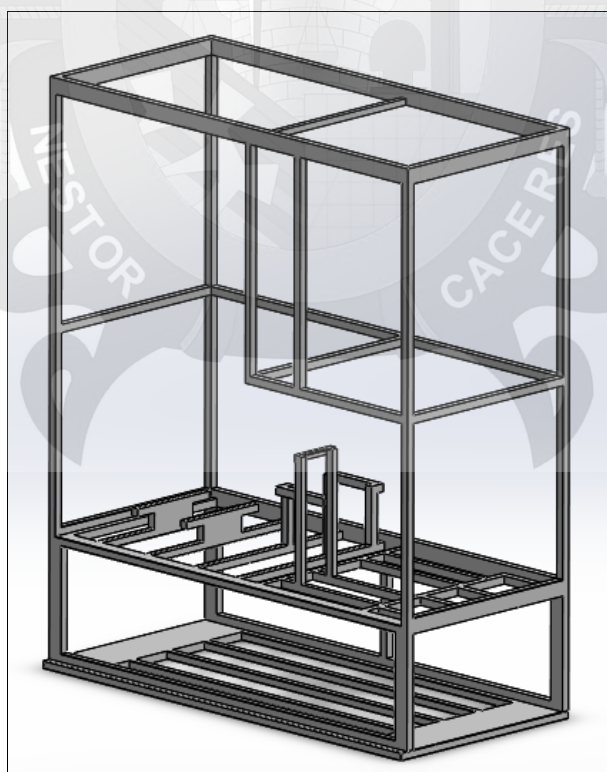


Figura 46. Vista Isométrica de diseño en 3D

Fuente: Elaboración propia

El diseño del sistema eléctrico de la instalación ha sido desarrollado teniendo en cuenta la demanda máxima de potencia que se puede solicitar al suministro, para una tensión monofásica nominal de 220 VAC Hz. La demanda de corriente proporcionada a los motores eléctricos está dada por las siguientes formulas.

Motor monofásico:

$$I_a = P_n \times 1.000 / (U \times \eta \times \cos \phi) \quad (\text{Formula 11})$$

Dónde:

I_a : Intensidad absorbida (en amperios)

P_n : Potencia nominal (en kW de potencia activa)

U : Tensión entre las terminales de los motores monofásicos (en V)

η : Rendimiento del motor. kW de salida/kW de entrada (0.9)

$\cos \phi$: factor de potencia. kW de entrada/kVA de entrada (0.9)

Haciendo el análisis de cargas en una hoja de cálculo en Excel tenemos los siguientes resultados.

Item	Cargas	Voltaje VAC	FP	η	Carga (kW)	Demanda (kVA)	DMS (kVA)	Corriente Nominal (A)
1	Bomba de Operaciones	220	0,90	0,90	0,37	0,46	0,39	2,21
2	Bomba de Precipitado	220	0,90	0,90	0,37	0,46	0,39	2,21
3	Bomba de Riego	220	0,90	0,90	0,37	0,46	0,39	2,21
4	Fuente de Alimentación 24VCC	220	0,80	0,90	0,25	0,35	0,30	1,68
5	Circuito de Control y Mando	220	0,90	0,90	0,15	0,19	0,16	0,89
Intensidad de corriente requerida del suministro en Amperios								9,19
Demanda máxima de potencia en kW								1,64

Tabla 14. Cuadro de demanda máxima de potencia

Fuente: Elaboración propia

FP	Factor de Potencia
η	Rendimiento
kW	Potencia Activa
kVA	Potencia Aparente
DMS	Demanda Máxima de Potencia Aparente
DS	Demanda de Potencia Aparente

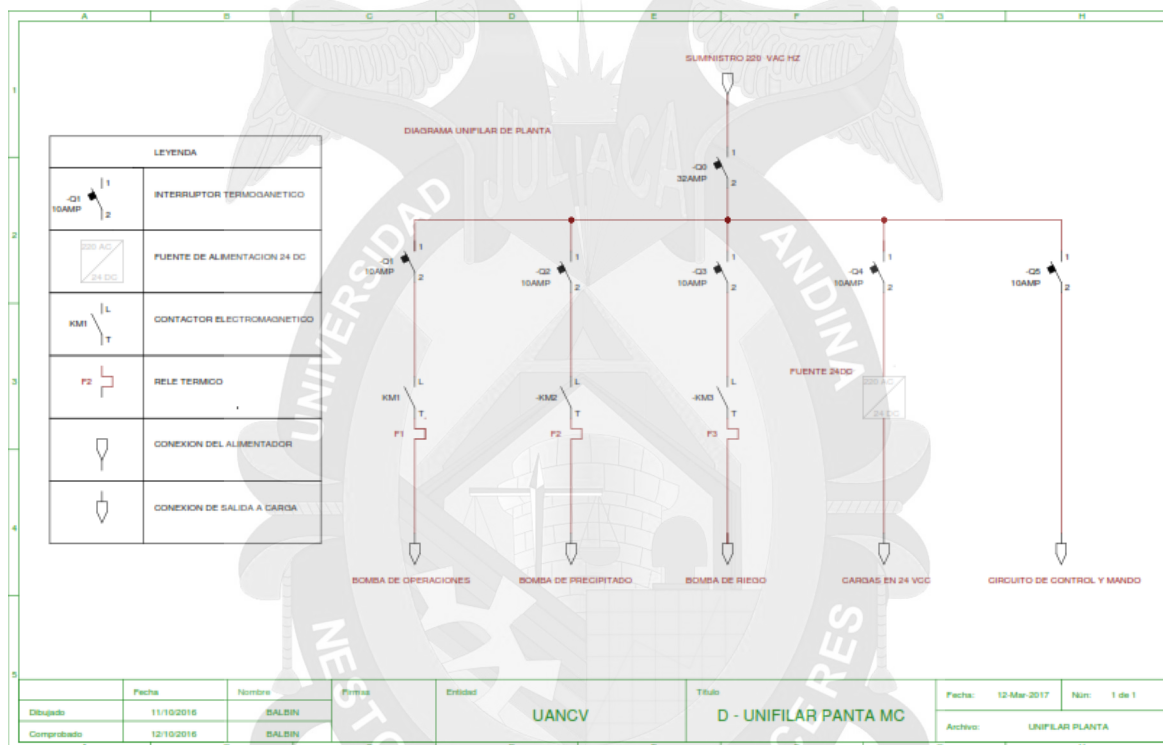


Figura 47. Diagrama unifilar del sistema eléctrico de planta

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3.1. Circuito de fuerza

El circuito de fuerza está compuesto por la alimentación y la distribución eléctrica a las diferentes cargas existentes, para tal efecto se emplea diferentes componentes eléctricos como interruptores termomagnéticos, contactores, relés térmicos y borneros de conexión, a continuación se detalla con mayor amplitud la función de estos componentes dentro del circuito de fuerza.

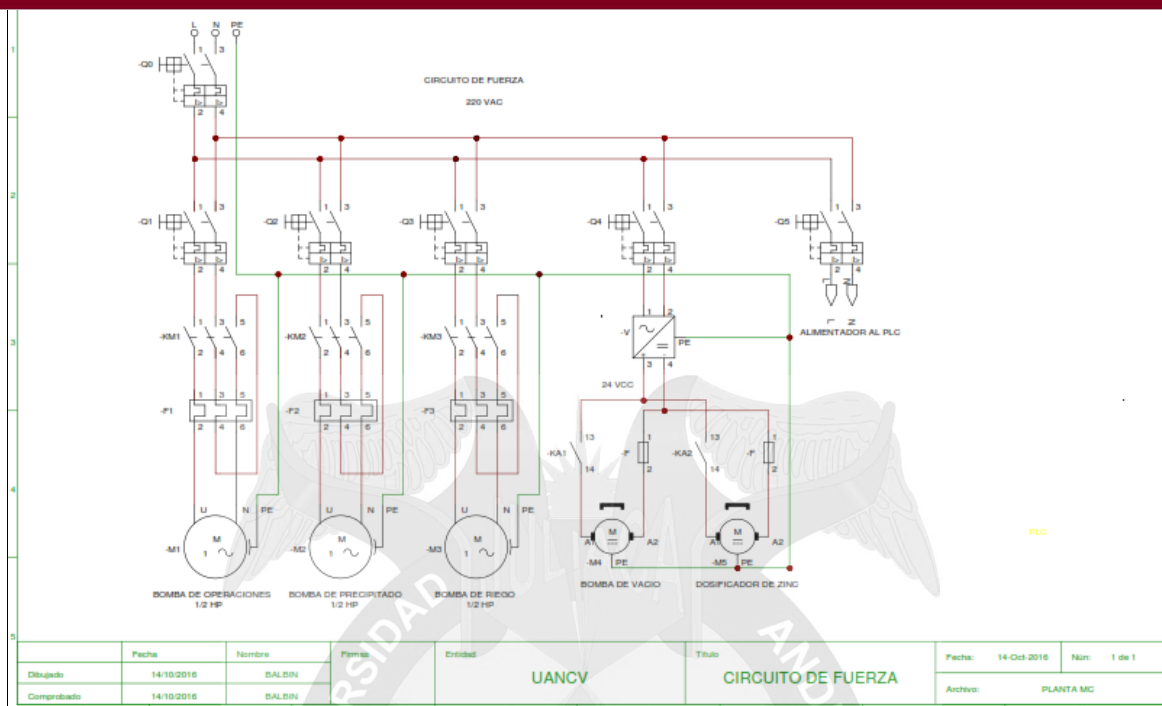


Figura 48. Circuito de fuerza de la planta

Elaboración propia

4.3.1.3.2. Circuito de mando

El circuito de mando está compuesto por una lógica cableada de mando manual para realizar arranques directos e independientemente de las electrobombas y un interruptor selector de mando para pasar al control automático, que está basado en un programa cargado en un controlador lógico programable (PLC), e cual comprende el arranque secuencial de los equipos y la interacción del sistema de control de nivel de la torre de vacío en base a la posición de apertura de un válvula de control con posicionador electroneumático.

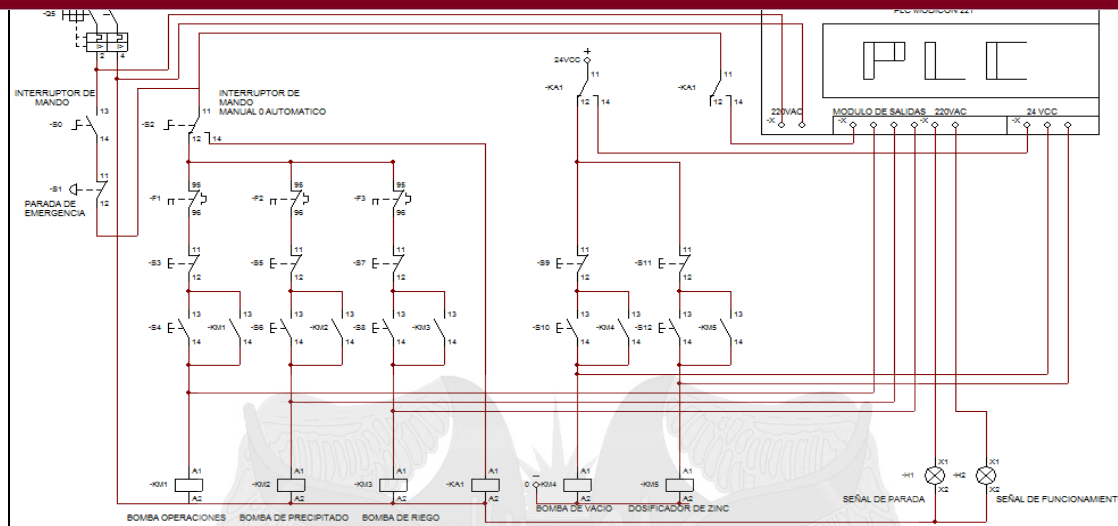


Figura 49. Circuito de mando de la planta

Elaboración propia

4.3.1.3.3. Dimensionamiento de conductores

El dimensionamiento de los conductores eléctricos se da según el dato de la corriente nominal de la carga, o utilizando las fórmulas indicadas en la tabla 15, de acuerdo con el tipo de sistema eléctrico (de corriente continua, de corriente alterna monofásico o trifásico) y del tipo de carga (motores, circuito de mando u otras cargas).

Conociendo	c.c.	c.a. 1Φ	c.a. 3Φ
CP (HP)	$\frac{HP \times 746}{V \times \eta}$	$\frac{HP \times 746}{V \times \eta \times fp}$	$\frac{HP \times 746}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times fp}$
kW	$\frac{kW \times 1000}{V}$	$\frac{kW \times 1000}{V \times fp}$	$\frac{kW \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times fp}$

Tabla 15. Tabla de fórmulas para hallar la intensidad de la carga en Amp.

Fuente: Manual de conductores eléctricos Latincasa

Dónde:

CP (HP) = Caballos de fuerza o potencia del motor

kW = Potencia en kilowatt

V = Tensión nominal del sistema en Volts

η = Eficiencia del motor (Valor típico 0,8)

fp = Factor de potencia (Valor típico 0,9)

conducción de corriente del cable, que depende del tipo del aislamiento, de la temperatura de operación y del método de instalación, utilizando la siguiente tabla:

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor					
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
		Cobre			Aluminio		
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

Tabla 16. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible

Fuente: Manual de conductores eléctricos Latincasa

Una vez elegido el calibre del conductor, corregir la capacidad de conducción de corriente tomada de la Tabla anterior, en función de la temperatura ambiente del lugar de instalación, para ello se multiplica por el factor de corrección que se indica en la Tabla de factores de corrección por temperatura siguiente.

Temperatura ambiente en el lugar de la instalación °C	60°C	75°C	90°C
21 – 25	1,08	1,05	1,04
26 – 30	1,00	1,00	1,00
31 – 35	0,91	0,94	0,96
36 – 40	0,82	0,88	0,91
41 – 45	0,71	0,82	0,87
46 – 50	0,58	0,75	0,82
51 – 55	0,41	0,67	0,76

Tabla 17. Factores de corrección por temperatura

Fuente: Manual de conductores eléctricos Latincasa

seleccionar el calibre de puesta a tierra de equipos nos basaremos en la tabla siguiente, la cual indica el calibre mínimo para la puesta a tierra de canalizaciones y equipos.

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Cable de Cobre	Cable de Aluminio
(A)		
15	2,08 (14)	--
20	3,31 (12)	--
30	5,26 (10)	--
40	5,26 (10)	--
60	5,26 (10)	--
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)
500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1000	67,4 (2/0)	107 (4/0)

Tabla 18. Sección nominal de los conductores de puesta a tierra

Fuente: Manual de conductores eléctricos Latincasa

Nota: Los conductores de puesta a tierra de los equipos podrían ser de mayor sección que lo especificado en esta tabla. Este conductor de puesta a tierra de equipos puede ser conductor desnudo o aislado. Si es aislado, el color de identificación del aislamiento debe ser amarillo con franja verde.

Luego de la revisión y comparación con las tablas de selección el calibre de conductor para los equipos se consideró el calibre de 3 x 12AWG - 4mm² para la línea de alimentación, 3 x 14 AWG - 2.1mm² para los circuitos de fuerza y equipos de bombeo y 16 AWG – 1.3mm² para el cableado de mando y control.

El tipo de conductor considerando para el cableado exterior de los equipos de la planta es el TTRF-70 (NLT), esencialmente por el tipo de aislamiento y sus características de construcción.

Material del conductor	Cobre
Material de aislamiento	PVC
Cubierta exterior	PVC
Color de cubierta	Gris
Libre de plomo	Si
Flexibilidad del conductor	Altamente flexible
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Tensión nominal de servicio Uo/U	300 / 500 V
CARACTERÍSTICAS DE USO	
No propagación de la llama	IEC 60332-1
Temperatura máxima del conductor	70°C

Tabla 19. Características del cable TTRF-70

Fuente: INDECO

4.3.2. Implementación

4.3.2.1. Sistema de bombeo de soluciones

Para la implementación de la circulación de soluciones se consideró seleccionar 03 electrobombas periféricas monofásicas de ½ HP, 220 VAC con capacidad de 24L/min, los cuales se ajustan a las especificaciones requeridas en el diseño del sistema de bombeo. Las electrobombas periféricas, se caracterizan, porque cuenta con numerosas aspas radiales, en la periferia del rodete que se encargan de ceder energía al fluido bombeado mediante la rotación del eje del motor eléctrico.

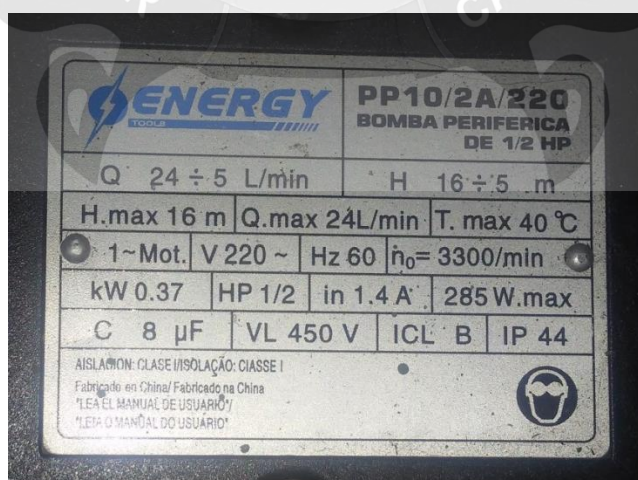


Figura 50. Placa de datos de la bomba periférica seleccionada

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación de la planta que representará el proceso Merrill Crowe, cuenta con los siguientes componentes básicos orientados netamente al control de arranque secuencial de los equipos y control automático de la torre de vacío.

- **Poza de solución rica (PLS).**- La función de esta poza es captar y almacenar la solución enriquecida de lixiviación; es decir, la solución rica que contiene oro y plata en forma de un complejo soluble en medio alcalino. En una operación real, a solución enriquecida lixiviada fluye por gravedad desde las pilas de lixiviación a la poza de solución rica y es bombeada hacia a planta mediante la denominada bomba de operaciones.
- **Poza de solución intermedia (ILS).**- Esta poza captara la solución que procede de zonas que ya están lixiviadas y próximas a terminar su etapa de lixiviación y que tienen leyes bajas en oro. En nuestra implementación, la poza de solución rica e intermedia que tienen una capacidad de 55 Litros cada una.
- **Filtro clarificador.**- La etapa de filtrado de la solución rica, es una de las etapa más importantes del proceso Merrill Crowe, desde este punto, la solución rica, es denominada solución clarificada.
- **Torre de desoxigenación.**- Está representada por un tanque vertical transparente, de 25x25x98cm, donde se elimina el contenido de oxígeno disuelto de la solución clarificada, que son extraídos mediante bombas de vacío, cabe mencionar que en la implementación no está considerado la instalación de la bomba de vacío, pero se cuenta con una salida eléctrica para esta carga.
- **Dosificador de Zinc.**- Está compuesta por un mecanismo que dosifica el Zinc en polvo a un cono donde se disuelve y es alimentada a la línea de solución rica clarificada, libre de oxígeno disuelto que sale de la torre de



como agente precipitante del oro y plata.

- **Filtro de precipitado.-** La solución rica clarificada y libre de oxígeno disuelto ya con la dosificación Zinc en polvo es bombeada hacia la etapa final de filtrado para separar el precipitado con contenido de oro y plata
- **Tanque de riego.-** Se denomina tanque de riego al recipiente que almacena la solución estéril proveniente del filtro de precipitado, en este tanque se adiciona una dosis de cianuro disuelto para que sea bombeada nuevamente a la cancha de lixiviación para el riego del mineral, completando de esta forma la recirculación continua de la solución.
- **Estructura metálica.-** La estructura está fabricada en tubo metálico cuadrado LAF ASTM A513, de 25 x 25 x 0.9mm y tubo rectangular 25 x 50 x 0.9mm, aplicando soldadura AP 6011, pintura de zincromato, de sodio y cuenta con 04 ruedas giratorias de 360° en la base, que permitirán el desplazamiento de toda la estructura, la dimensión total es de 1.70 x 1.50 x 72.5 cm, está compuesta en dos partes, para ensamblar ante eventualidades de transporte.

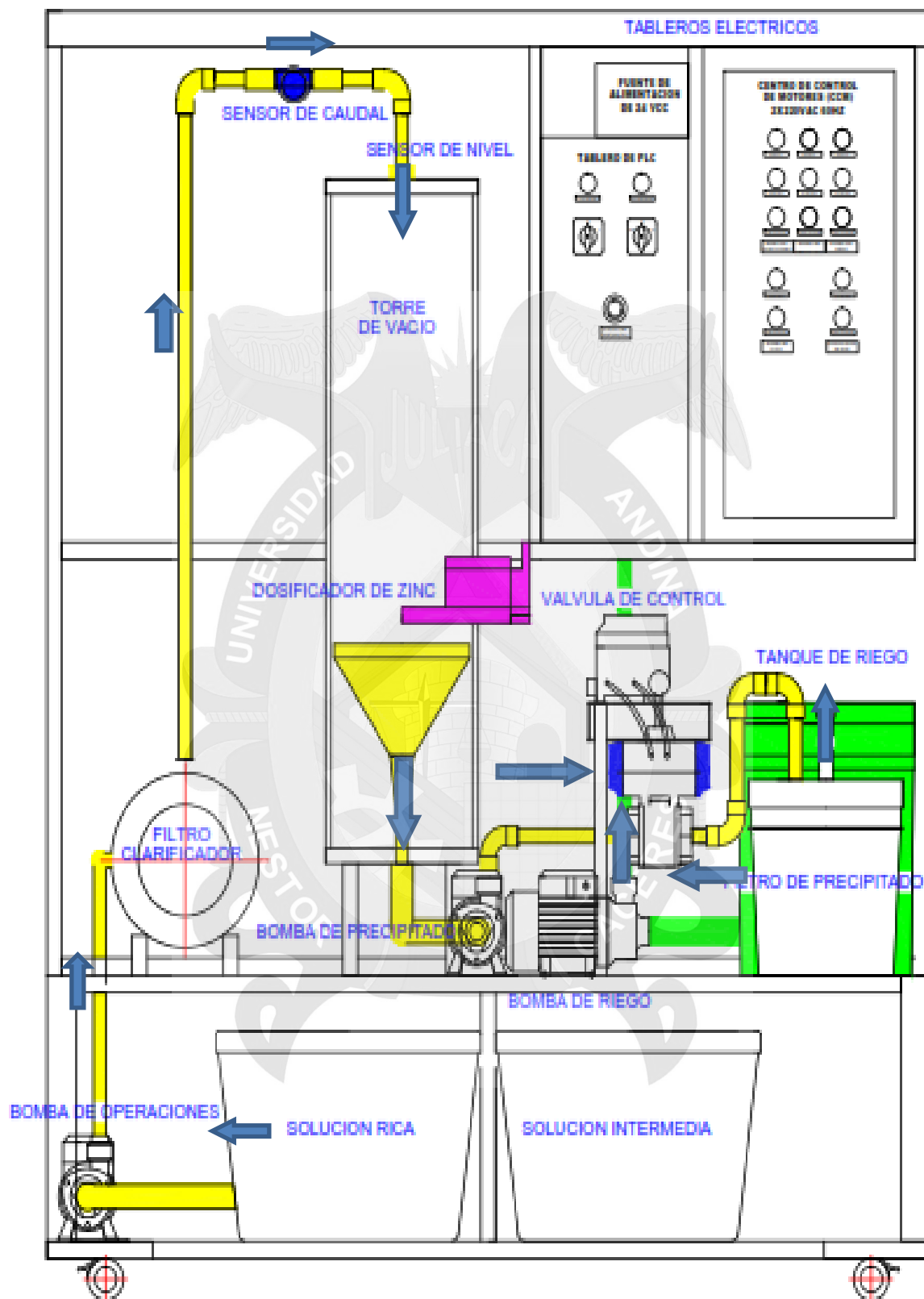


Tabla 20. Distribución de los equipos en la estructura de planta

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.1. Interruptor termo-magnético

El sistema eléctrico para el presente proyecto está implementado con interruptores termo-magnético para el circuito de fuerza y de control, cuyo dimensionamiento realizado fue de acuerdo a la capacidad de los conductores y el tipo de carga, debido a que su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente en un circuito, como son el magnético y el térmico (**efecto Joule**).



Figura 51. Interruptor termomagnético instalado en el tablero eléctrico

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.2. Contactor electromagnético

Para la activación de las electrobombas se consideró el uso del contactor, este componente electromecánico tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, en el circuito de fuerza, tan pronto se da tensión a la bobina y fueron seleccionados teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Tipo arranque de los motores (Directo)
- Potencia nominal de la carga.
- Condiciones de servicio (Normal).
- Disponibilidad en el mercado.



Figura 52. Contactores instalados en el tablero

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.3. Relé térmico

La función del relé térmico es proteger al motor frente sobrecargas, pero también debe dejar pasar la punta de corriente que se produce en el arranque del motor. Según el standard *IEC 60947*, se cuenta con cuatro categorías en función de la duración del arranque y el tiempo mínimo de disparo del relé térmico.

- **Clase 10A:** Aplicaciones de corriente con una duración de arranque inferior al 10 s.
- **Clase 10:** Igual a la anterior pero con disparo más lento del relé.
- **Clase 20:** Arranques de hasta 20 s de duración.
- **Clase 30:** Para arranques de un máximo de 60 s de duración.

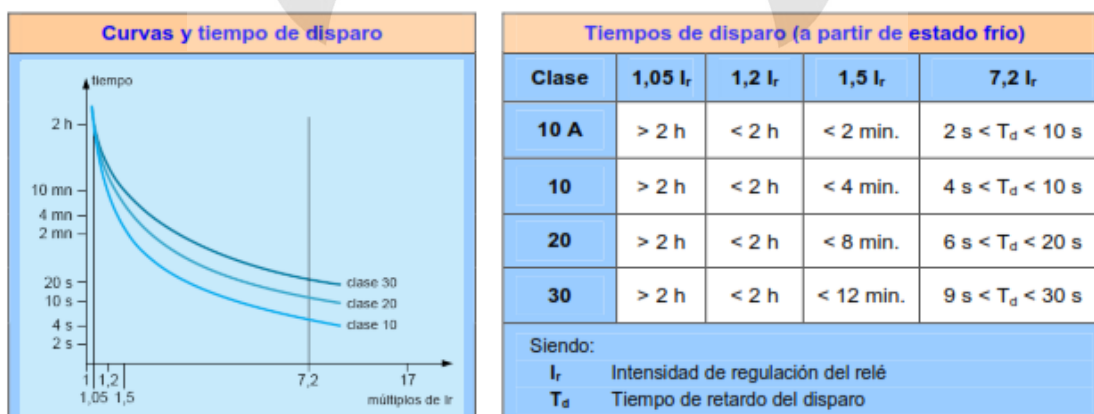


Figura 53. Curvas de tiempo de disparo de Relés

Fuente: Ficha técnica de relé NR2-25

pulsador de paro, para detener la instalación directamente desde el relé, un selector *manual/automático* y una *ruleta* para ajustar el disparo térmico de acuerdo a la corriente nominal del motor eléctrico. Además dispone de un pulsador de **test** para probar el funcionamiento, se dispone también de contactos auxiliares (*un NC marcado 95-96 y un NO marcado 97-98*) con los que cortar la alimentación del circuito de mando y señalar el defecto.

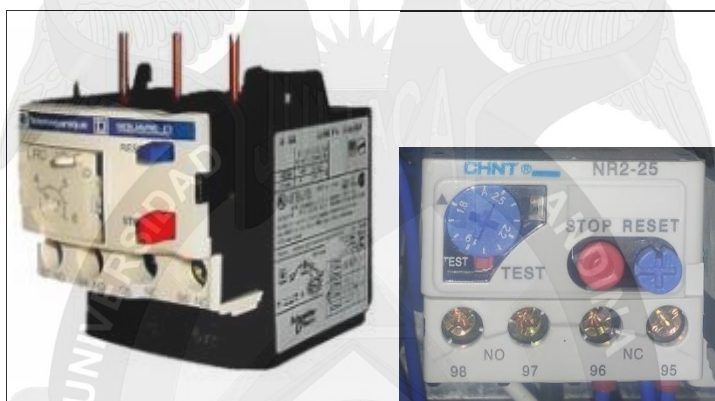


Figura 54. Relé Térmico

Fuente: Elaboración propia

El principio de funcionamiento del relé térmico se basa en una bilamina formada por un **bimetal** (dos metales de diferente coeficiente de dilatación) por el que circula toda o parte de la corriente y está conectado en serie con una fase del receptor (normalmente motor).

4.3.2.2.4. Interruptores de levás

Los interruptores de levás están dispuestos para la activación del sistema y el cambio de opciones de manual o automático, el diseño modular de los interruptores de levás consta de cámaras (pisos) que alojan cada una dos contactos revestidos de una aleación de plata que les proporciona una excepcionalmente larga vida mecánica y muy recomendado para elementos de maniobra en bajas tensiones.

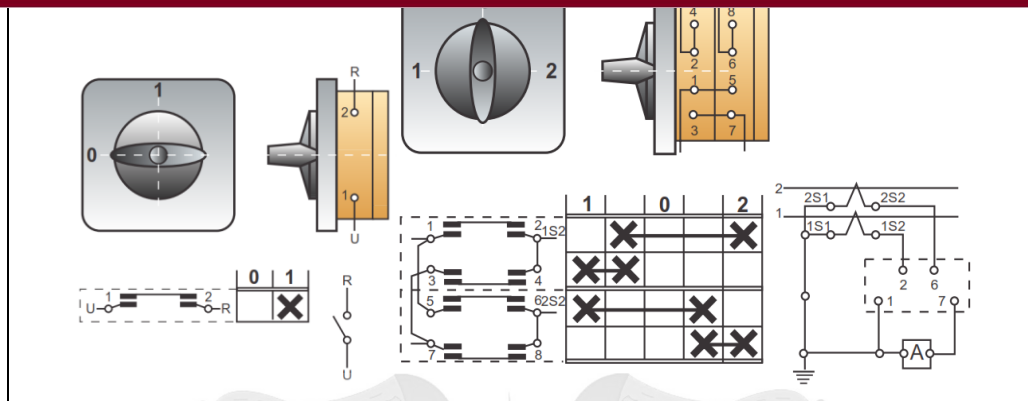


Figura 55. Estructura de los interruptores de levas

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.5. Pulsadores

Los pulsadores seleccionados son del tipo rasante, son empleados en la opción de operación manual del proceso, normalmente empleados en el arranque y paro de equipos durante el mantenimiento y pruebas de funcionamiento previos a la operación continua.

Los pulsadores se diferencian uno del otro por la codificación de colores, siendo el color rojo de contacto normalmente cerrado (NC), para funciones de parada del equipo y el de color verde contacto normalmente abierto (NA), para funciones de arranque o marcha del equipo.

<p>Pulsador de contacto normalmente abierto (NA)</p>	<p>Pulsador de contacto normalmente cerrado (NC)</p>
	
<p>-S1  13 14</p>	<p>-S0  11 12</p>

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.6. Parada de emergencia

El sistema de botoneras de mando, también cuenta con un pulsador normalmente cerrado (NC), de parada emergencia tipo hongo que está ubicado en la parte central del tablero de control, este pulsador es con retención el cual se tiene que girar para que vuelva a su esta normal.


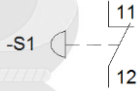
Pulsador de parada de emergencia tipo hongo	Simbolo
	

Figura 57. Parada de emergencia y símbolo

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.2.7. Relé auxiliar de contactos

El relé es un interruptor accionado electromagnéticamente, cuyo propósito de utilización en nuestro circuito de mando son las siguientes:

- Multiplicar señales
- Enlazar circuitos de lógica cableada
- Separar el circuito de mando del circuito de fuerza

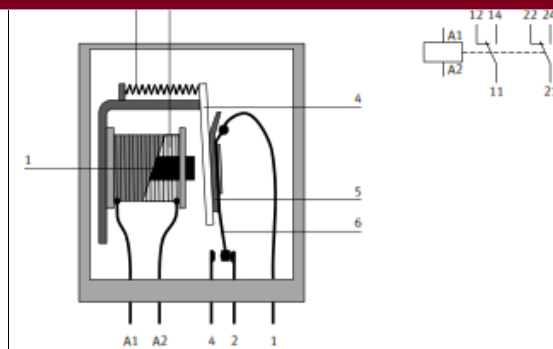


Figura 58. Partes del relé de contactos auxiliares

Fuente: Elaboración propia

- Núcleo de la bobina (1)
- Bobina del relé (3)
- Aislamiento (5)
- Muelle de reposición (2)
- Inducido (4)
- Contacto (6)

4.3.3. Diseño del Sistema de automatización

4.3.3.1. Proceso

El proceso de automatización, parte con la integración de la secuencia de arranque de los equipos, con las condiciones seguridad de los sensores de nivel bajo y alto en la poza de solución rica y el tanque de riego respectivamente, sin dejar de lado el arranque independiente de los equipos en la opción de mando manual.

La implementación del sistema de automatización está orientada al control automático del nivel de solución clarificada en la torre de vacío, que estará compuesta con la lectura del caudal de ingreso de solución, un sensor de nivel, un controlador lógico programable, y un actuador posicionador electroneumático.

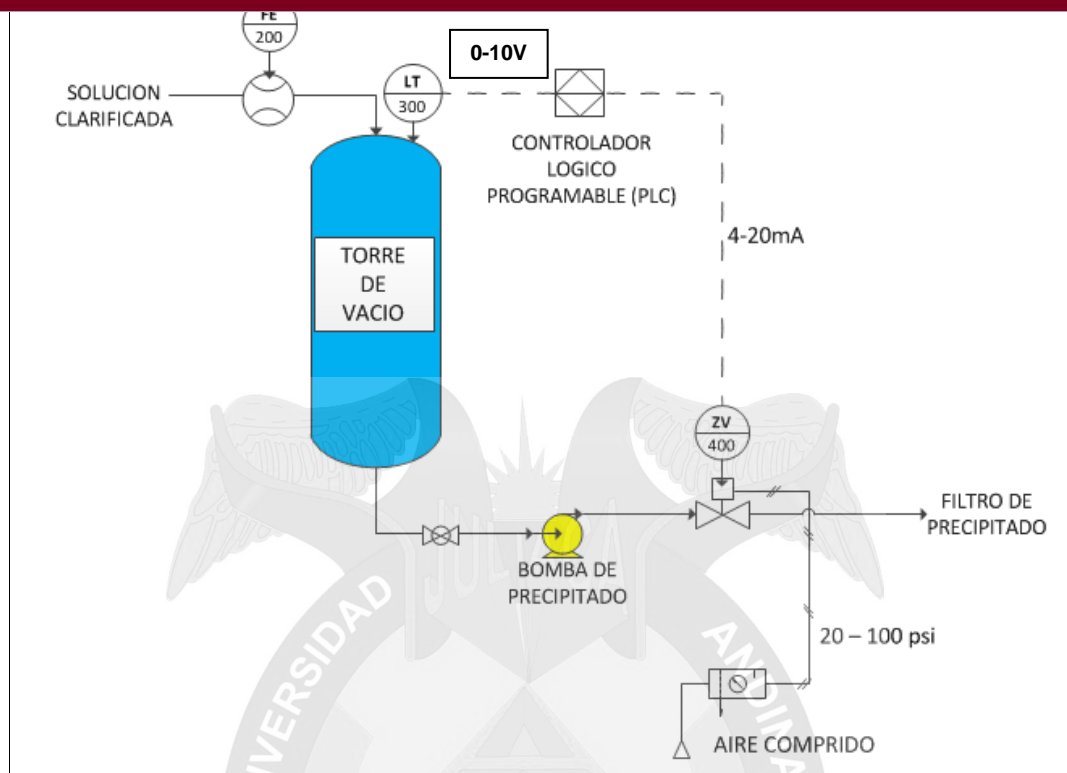


Figura 59. Diagrama de control automático de nivel

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2. Diseño

El diseño de automatización propone la integración de un Controlador Lógico Programable (PLC), que permita regular de forma automática del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación, mediante el uso del módulo de entradas y salidas analógicas con señales de 4-20mA, que permita manejar la señal del sensor de nivel con salida e 10Vcd y controlar un actuador electro neumático (Válvula de control).

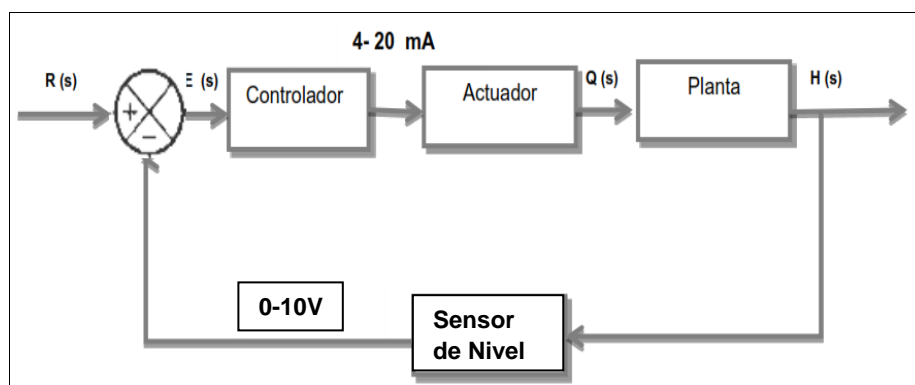


Figura 60. Diagrama de bloques del control automático

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.2.2. Sensor de caudal

El sensor de caudal que emplearemos en este proyecto es el sensor Sea YF-S201, que será instalada en la línea de salida de solución clarificada que alimenta la torre de desoxigenación, su principio de funcionamiento se basa en un sensor magnético de efecto Hall que emite un impulso eléctrico con cada revolución. El sensor de efecto Hall está sellado para permanecer seguro y seco.

“El sensor viene con tres cables: rojo (energía 5-24VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos de efecto Hall). Al contar los pulsos de la salida del sensor, se puede calcular fácilmente el flujo de agua” (26). La señal de pulso de este sensor tiene una simple onda cuadrada, fácil de registrar y convertir en litros por minuto.

Características

- Modelo: YF-S201
- Tipo de Sensor: Efecto Hall
- Voltaje Nominal: 5 a 18V DC (Voltaje Mínimo Requerido 4.5V)
- Máxima Corriente de operación: 15mA @ 5V
- Voltaje de Salida: 5V TTL
- Velocidad de Flujo: 1 a 30 Litros/Minuto
- Rango de Temperatura: -25 a +80°C
- Rango de Humedad: 35%-80% RH
- Precisión: $\pm 10\%$
- Máxima Presión de Agua: 2.0 MPa
- Pulsos por Litro: 450
- Conectores nominales tubería de 1/2"
- Tamaño: 2.5" x 1.4" x 1.4"



Figura 61. Sensor de caudal Sea YF-S201

Fuente: <http://chips.mecatronium.com/tutorial-sensor-de-flujo-yf-s201/>

4.3.3.2.3. Sensor de nivel

El sensor de nivel, es la encargada de realizar el registro del nivel de solución clarificada en la torre de vacío, dentro de un rango determinado, con una salida analógica que es vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual LCD.

El sensor implementado está basado en la variación de la resistencia en función a la variable a medir, la salida analógica, será una señal de 0-10Vcc, para enviarlo al módulo de entradas analógicas del controlador lógico programable, para tal efecto se implementara el mecanismo para accionar el siguiente circuito.

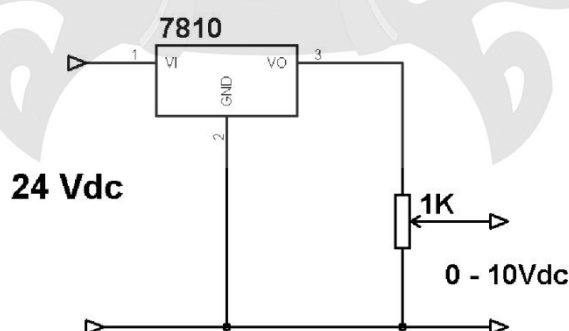


Figura 62. Diagrama de conexión del regulador de voltaje 7810

Fuente: <http://imgur.com/dDMf6PD>

El actuador cuenta con un posicionador electroneumático de la marca GENE BRE modelo 5951 00, que se utiliza en la operación de actuadores neumáticos para válvulas rotativas de 90°, mediante mando de un sistema de control con una señal de salida analógica de 4 a 20mA, cuyas características se detallan a continuación.

- Está diseñado para la alta durabilidad y rendimiento en el medio ambiente de alta vibración
- Tiempo de respuesta es muy breve y precisa
- Bajo consumo de aire
- Calibración precisa y sencilla de ajuste Span y Zero.
- Sistema de control con señal analógica de 4-20 mA.
- Fácil ajuste del cero y el recorrido.
- Fácil conexión de las tuberías de aire.

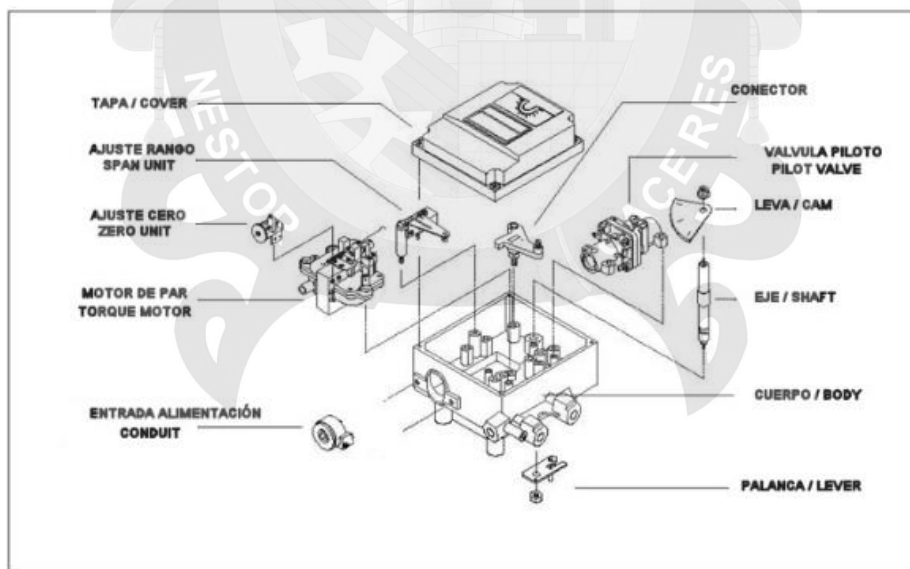


Figura 63. Partes del posicionador electroneumático

Fuente: GENE BRE

El posicionador tiene un efecto directo en el actuador neumático que se encargará del movimiento rotativo de una válvula de bola con ¼ de vuelta, donde la bola taladrada gira entre asientos elásticos, a 90° que permite la apertura y cierre de la válvula.



Figura 64. Posicionador electroneumático y actuador neumático

Fuente: GENE BRE

4.3.3.2.5. Controlador

El controlador más adecuado para nuestro sistema automatizado es el PLC (Controlador Lógico Programable), el cual estará encargado de ejecutar los lazos de control programados de acuerdo al número de entradas y salidas digitales requeridos según el siguiente listado:

No	ENTRADAS DIGITALES	No	SALIDAS DIGITALES
1	Disparo de relé térmico F1	1	Bomba de Operaciones
2	Disparo de relé térmico F2	2	Bomba de Precipitado
3	Disparo de relé térmico F3	3	Bomba de Riego
4	Parada de emergencia	4	Bomba de Vacío
5	Interruptor de opción manual	5	Dosificador de Zinc
6	Interruptor de opción automático	6	Lámpara indicadora de arranque (verde)
7	Sensor de nivel alto de poza de operaciones	7	Lámpara indicadora de parada (rojo)
8	Sensor de nivel bajo de poza de operaciones	8	Lámpara de disparo F1
9	Sensor de nivel alto de tanque de riego	9	Lámpara de disparo F2
10	Sensor de nivel bajo de tanque de riego	10	Lámpara de disparo F3

Tabla 21. Cuadro de entradas y salidas digitales requeridas

Fuente: Elaboración propia

del PLC compacto Modicon modelo TM221CE24R de Schneider Electric.

Referencia	Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas	Puertos de comunicación	Fuente de alimentación
TM221CE24R	10 Entradas normales, 4 entradas rápidas (HSC)	10 Salidas de relé	Si	1 Puerto de línea serie, 1puerto de programación USB, 1puerto Ethernet	100 a 240 VCA

Tabla 22. Características del controlador lógico programable:

Fuente: Guía de programación de Modicon 221

El controlador lógico programables, Modicon M221 es un controlador MachineStruxure de Schneider Electric, con una propuesta de solución intuitiva para la automatización de máquinas con todas las características y funciones necesarias para mejorar los resultados finales, desde el diseño y el desarrollo a la puesta en marcha y el mantenimiento, MachinStruxure constituye una completa solución de fabricación de maquinaria que aporta ventajas durante toda la vida útil de la máquina.

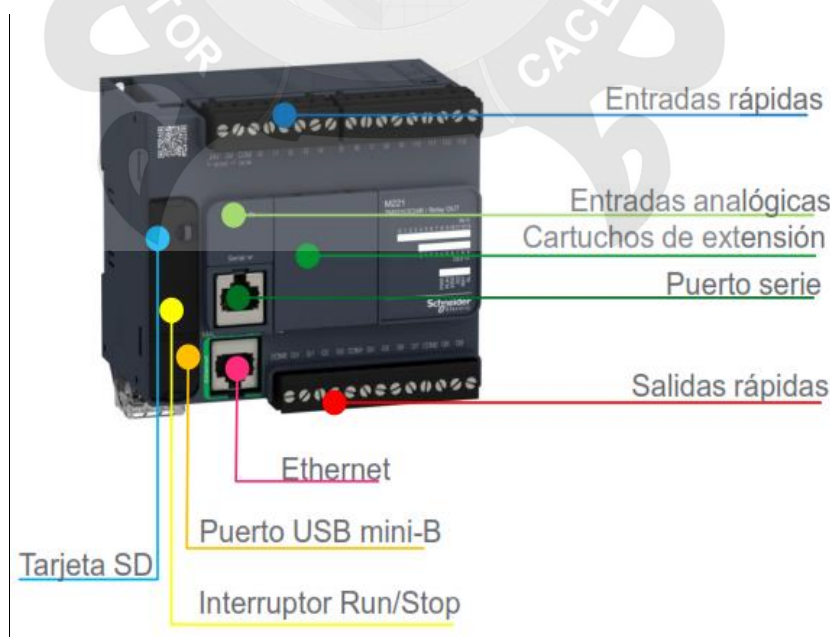


Figura 65. Partes principales del PLC TM221CE24R

Fuente: Schneider Electric Machine Solutions – Taller M221

Así mismo se considera la adquisición del módulo de entradas y salidas analógicas TM3AM6 que nos brinda la opción de elegir el tipo de señal en tensión o corriente, ideal para el manejo del control automático nivel del líquido en el tanque de desoxigenación y otras señales que se desee implementar en la planta.

Características del TM3AM6G	
Gama de producto	Modicon TM3
Tipo de producto o componente	Módulo analógico de entrada/salida
Compatibilidad de gama	Modicon M221 Modicon M241 Modicon M251
Número de entradas analógicas	4
Tipo de entrada analógica	Tensión, analogue input range: - 10...10 V Tensión, analogue input range: 0...10 V Corriente, analogue input range: 0...20 mA Corriente, analogue input range: 4...20 mA
Número de salida analógicas	2
Tipo de salida analógica	- 10...10 V tensión 0...10 V tensión 0...20 mA corriente 4...20 mA corriente

Tabla 23, Características del módulo de entradas y salidas analógicas mixtas

Fuente: Schneider Electric

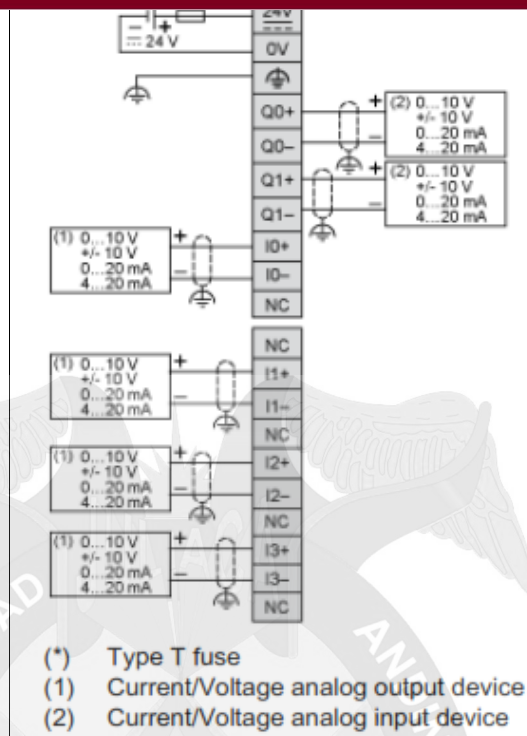


Figura 66. Conexión del módulo de entradas y salidas analógicas mixtas

Fuente: Hoja de datos TM3AM6G Schneider Electric

4.3.3.3. Implementación de sistema de automatización

4.3.3.3.1. Sensor de caudal

Para la implementación del sensor de caudal YF- S201, es necesario calibrarlo y comprobar el valor del factor de conversión que nos da el fabricante, este factor representa la frecuencia de pulsos equivalente a litros por minuto, como se plantea en las siguientes ecuaciones.

$$450 \text{ pulsos/min} = 1 \text{ L/min} \rightarrow 7.5 \text{ pulsos/seg} = 1 \text{ L/min} \rightarrow 7.5 \text{ Hz} = 1 \text{ L/min}$$

$$Q \text{ (L/min)} = \text{frecuencia} / 7.5 \rightarrow Q \text{ (L/hora)} = \text{frecuencia} * 60 / 7.5$$

Formula 12

que dividir entre 7.5, para obtener el número de L/min, para el caudal en L/hora tenemos que multiplicar la frecuencia por 60 minutos que tiene una hora.

Sin embargo al realizar las pruebas de medición de flujo haciendo la descarga en un recipiente graduado en litros, se logró verificar que la frecuencia de pulsos es diferente a la propuesta del fabricante, teniendo que corregir la frecuencia a 372 pulsos por litro, siendo el factor de conversión 6.2, que se ingresara a la programación de la tarjeta Arduino Nano, La figura 68 muestra el detalle del conexionado del sensor de caudal, la pantalla LCD 2x16, el Arduino Nano y el módulo de comunicación RS 485, con el PLC mediante el puerto serial.

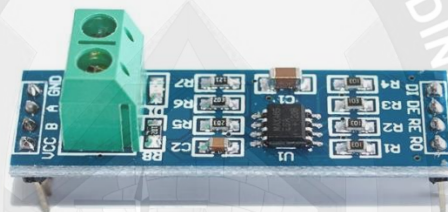


Figura 67, Módulo de comunicación RS 485

Fuente: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=318954.45>



Figura 68, Tarjeta Arduino Nano

Fuente: <http://www.naylampmechatronics.com/arduino-tarjetas/88-arduino-nano-ch340g.html>

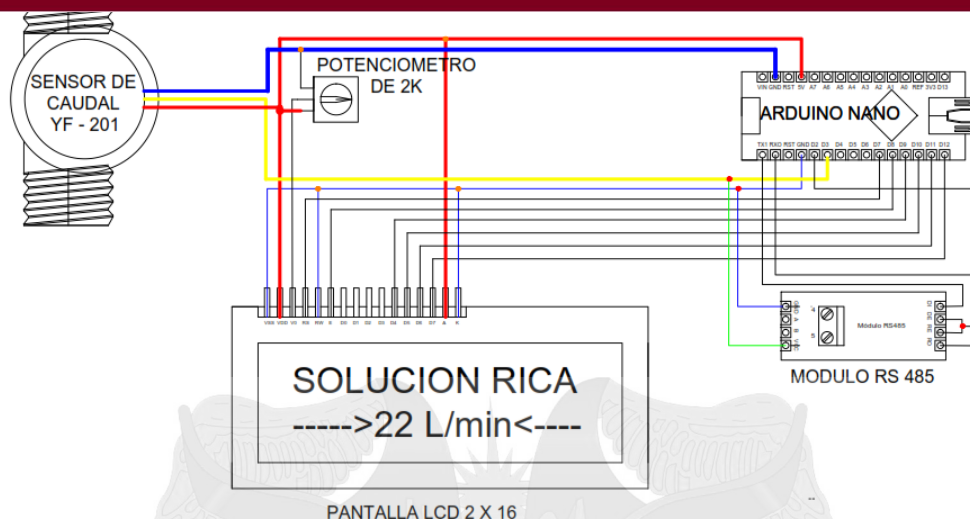


Figura 69. Conexión del sensor de Caudal y LCD

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.3.2. Sensor de nivel

El sensor de nivel está compuesto por un flotador que se mantiene en la superficie del agua, accionando un potenciómetro mediante una correa dentada que regula el voltaje de salida de 0-10VCC, según la altura de la columna de agua del recipiente, que representa la torre de vacío. La equivalencia de la altura de nivel de líquido, está dado por el siguiente cuadro.

Nº de muestra	Altura en Cm	Señal de salida del sensor en Voltios
1	10	2.6
2	20	5.02
3	30	6.26
4	40	7.07
5	50	7.64
6	60	8.14
7	70	8.61
8	80	9.04
9	90	9.51
10	100	10

Tabla 24. Equivalencia de altura vs Voltaje de salida

Fuente: Elaboración propia

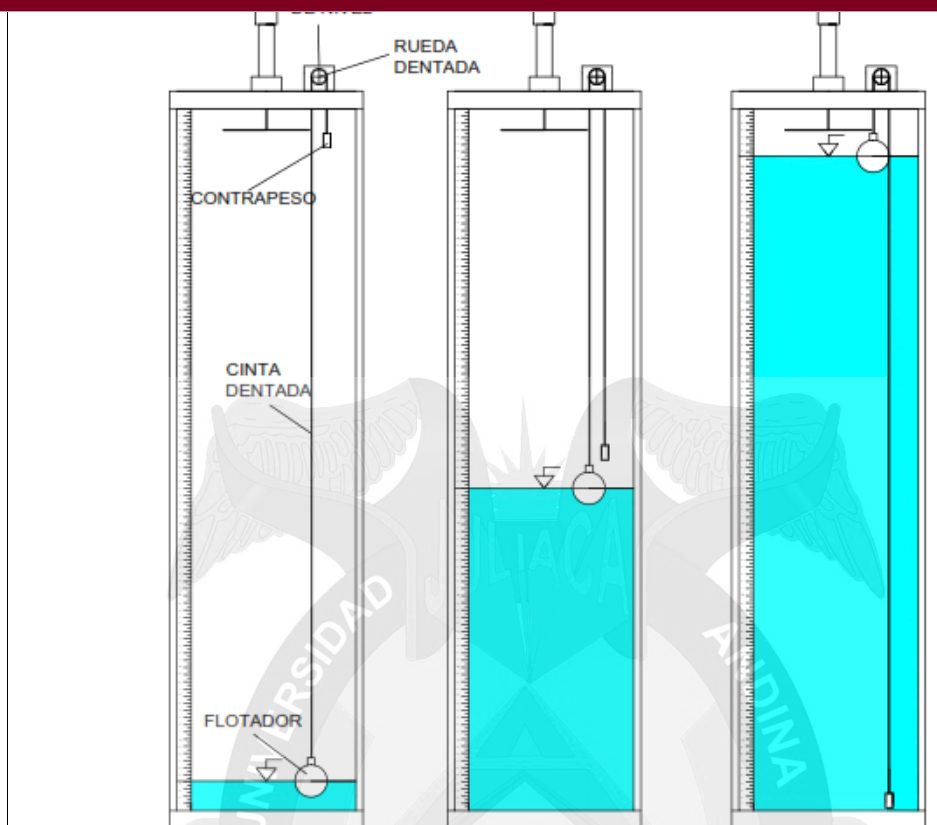


Figura 70. Diseño del mecanismo para el sensor de nivel

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.3. Posicionador y Actuador neumático

El elemento final de control, cuenta con un posicionador electroneumático 5951-00, encargado de regular la apertura y cierre de la válvula esférica en relación directa a la señal del controlador lógico programable (PLC) que recibe la señal del sensor de nivel de la torre de vacío. Según sus características técnicas, el actuador dispone de un cuerpo de aluminio extruido según ASTM 6005, con anodizado duro como protección a la corrosión interna y externa, con fino acabado interno del cilindro para obtener un bajo coeficiente de fricción.

ELECTRONEUMATICO

ACTUADOR NEUMATICO

VALVULA DE BOLA



Figura 71. Actuador instalado en planta

Fuente: Elaboración propia

El mecanismo del actuador cuenta con un diseño compacto de piñón y cremallera doble permite un ensamblaje simétrico, un largo ciclo de vida, así como una rotación en sentido Inverso, el sentido anti-horario abre / sentido horario cierra.

Se rescata las especificaciones técnicas del fabricante, que indica que cuenta con dientes completamente mecanizados en el pistón y en piñón para una máxima eficacia y un mínimo contragolpe entre piñón y cremallera, fijadores en acero inoxidable para una mayor resistencia a la corrosión. Conformidad completa con las últimas especificaciones: ISO5211, DIN 3337 y NAMUR confiriendo una gran capacidad de adaptación y fácil montaje de electroválvulas, finales de carrera y otros accesorios. Homologación ATEX según directiva 94/9/CE para atmósferas explosivas, tiene Categoría II 2 GD T5 (Zonas 1,2 / 21,22).

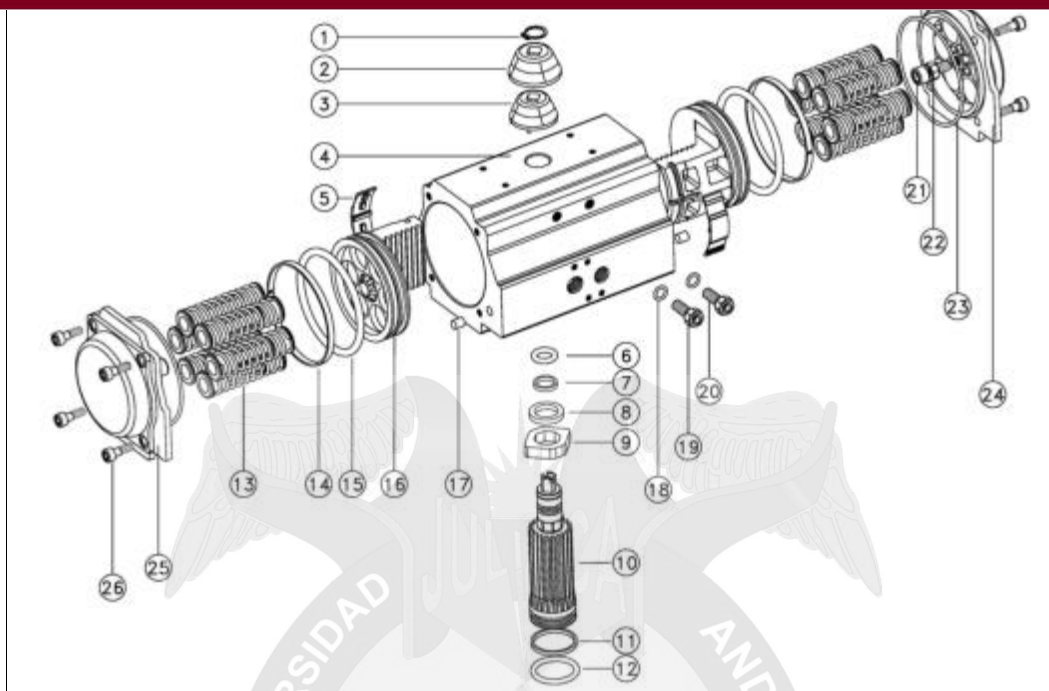


Figura 72. Partes de actuador neumático

Fuente: Ficha técnica actuador GENEBRE,

(Ver la lista de partes en el Anexo 02)

El tratamiento del aire comprimido se realiza mediante una unidad e mantenimiento compuesto por un filtro, un regulador de presión y un lubricador de aire a presión, estos tres elementos cumplen la función de acondicionar el aire comprimido que será suministrado al actuador posicionador 5950 00, utilizando acoples de conexión rápida para cañería flexible de $\frac{1}{4}$ ", con se puede apreciar en la siguientes imágenes.

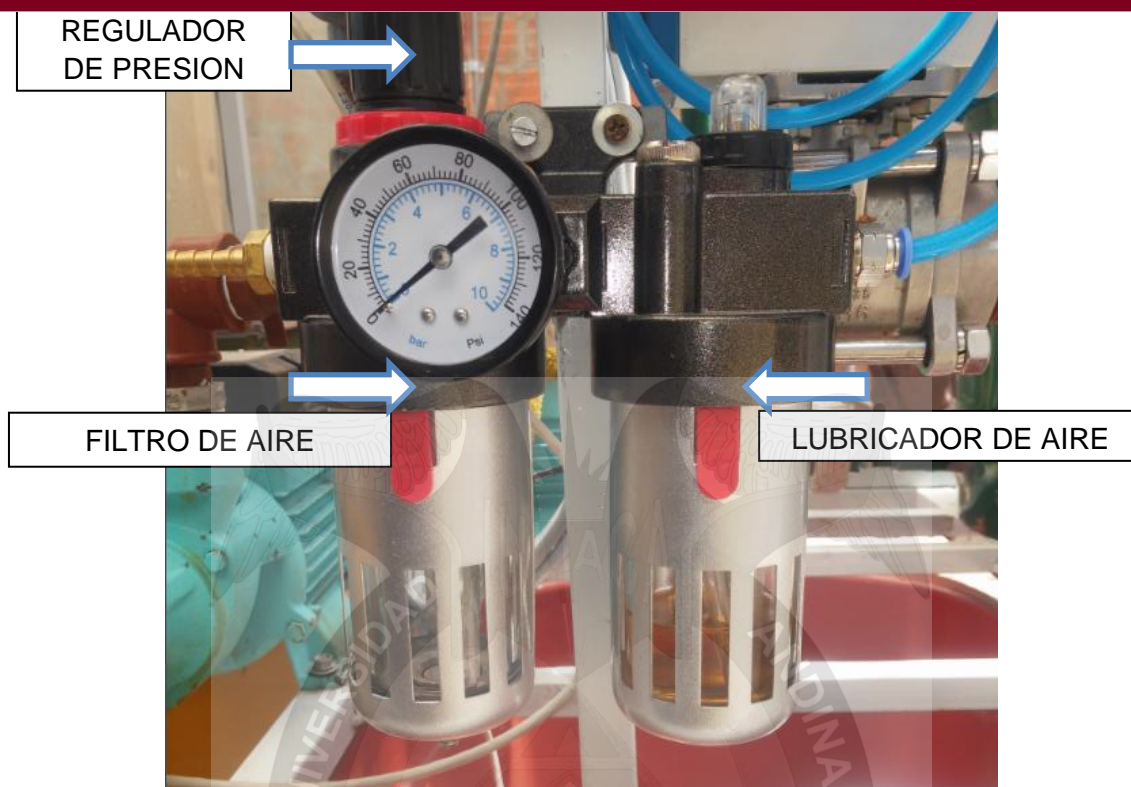


Figura 73. Unidad de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia



Figura 74. Conexión de aire en el posicionador 5950 00

Fuente: Elaboración propia

Para la implementación, se hizo la adquisición del PLC Modicon TM221CE24R, con su módulo de entradas y salidas analógicas mixtas TM3AM6, con los cuales se hará el conexionado, configuración y la programación respectiva



Controlador		
	Referencia	TM221CE24R
	Descripción	TM221CE24R (tornillo) 14 entradas digitales, 10 salidas de relé (2 A), 2 entradas analógicas, 1 puerto de línea serie, 1 puerto Ethernet, controlador compacto de 100 a 240 V CA con bloques de terminales extraíbles.
	Alimentación suministrada al bus de E/S	5V: 520 mA / 24V: 160 mA
Módulo		
	Referencia	TM3AM6/G
	Descripción	TM3AM6 (tornillo), TM3AM6G (resorte) Módulo de ampliación con 4 entradas analógicas (+/- 10 V, de 0 a 10 V, de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA) y 2 salidas analógicas (+/- 10 V, de 0 a 10 V, de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA), 12 bits, bloques de terminales extraíbles.
	Consumo en el bus de E/S	5V: 50 mA / 24V: 0 mA

Figura 75. Datos del controlador TM221CE24R y modulo TM3AM6

Fuente: Elaboración propia en SoMachine Basic

“La configuración, programación y puesta en funcionamiento del controlador lógico programable se lleva a cabo con el software SoMachine Basic de Schneider Electric, el denominado M221 Logic Controller, es compatible con los siguientes lenguajes de programación de IEC 61131-3” (27).

- IL: Lista de instrucciones
- LD: Diagrama de contactos
- Grafcet (lista)

“La configuración del controlador TM 221CE 24R se realiza con SoMachine Basic V1.5 SP1. SoMachine Basic es un software de programación gráfica diseñada para facilitar la configuración, el desarrollo y la puesta en marcha de programas para controladores lógicos” (27). Los requisitos mínimos del sistema para el PC en el que está instalado el software SoMachine Basic son:

- Procesador Intel Core 2 Duo o superior
- 1 GB de RAM
- Resolución de pantalla de 1280 x 768 píxeles o superior
- Versión de 32 o 64 bits de uno de los siguientes sistemas operativos:
- Microsoft Windows XP Service Pack 3
- Microsoft Windows 7
- Microsoft Windows 8
- Microsoft Windows 8.1
- Microsoft Windows 10

En SoMachine Basic se utilizan los siguientes términos:

- **Proyecto:** “Un proyecto de SoMachine Basic contiene información sobre el desarrollador y el objetivo del proyecto, la configuración del controlador lógico y los módulos de ampliación asociados destinados al proyecto, el código fuente de un programa, los símbolos, los comentarios, la documentación y otros detalles relacionados” (28).
- **Aplicación:** “Contiene todas las partes del proyecto que se descargan en el Logic Controller, incluidos el programa compilado, la información acerca de la configuración del hardware y los datos ajenos al programa (propiedades del proyecto, símbolos y comentarios)” (28).

lógico" (28).

- **POU** (Unidad de Organización del Programa): "Objeto reutilizable que contiene una declaración de variables y un conjunto de instrucciones que se utilizan en un programa" (28).

"En SoMachine Basic, también se utiliza el término objeto, para representar un área de la memoria del controlador lógico reservada para que la utilice una aplicación" (28). Los objetos pueden ser:

- Variables de software simples, como bits de memoria y palabras.
- Direcciones de las entradas y salidas digitales o analógicas.
- Variables internas del controlador, como palabras y bits del sistema.
- Funciones predefinidas del sistema o de los bloques de funciones, como temporizadores y contadores.

"La memoria del controlador está pre-asignada para determinados tipos de objetos, o bien se asigna automáticamente cuando una aplicación se descarga en el controlador lógico" (28). Los objetos solo pueden ser direccionados por un programa una vez que se ha asignado memoria. Los objetos se direccionan mediante el prefijo %, por ejemplo, %MW12 es la dirección de una palabra de memoria, %Q0.3 es la dirección de una salida digital incrustada y %TM0 es la dirección de un bloque de funciones Timer.

En el siguiente diagrama se muestran las fases típicas de desarrollo de un proyecto en SoMachine.

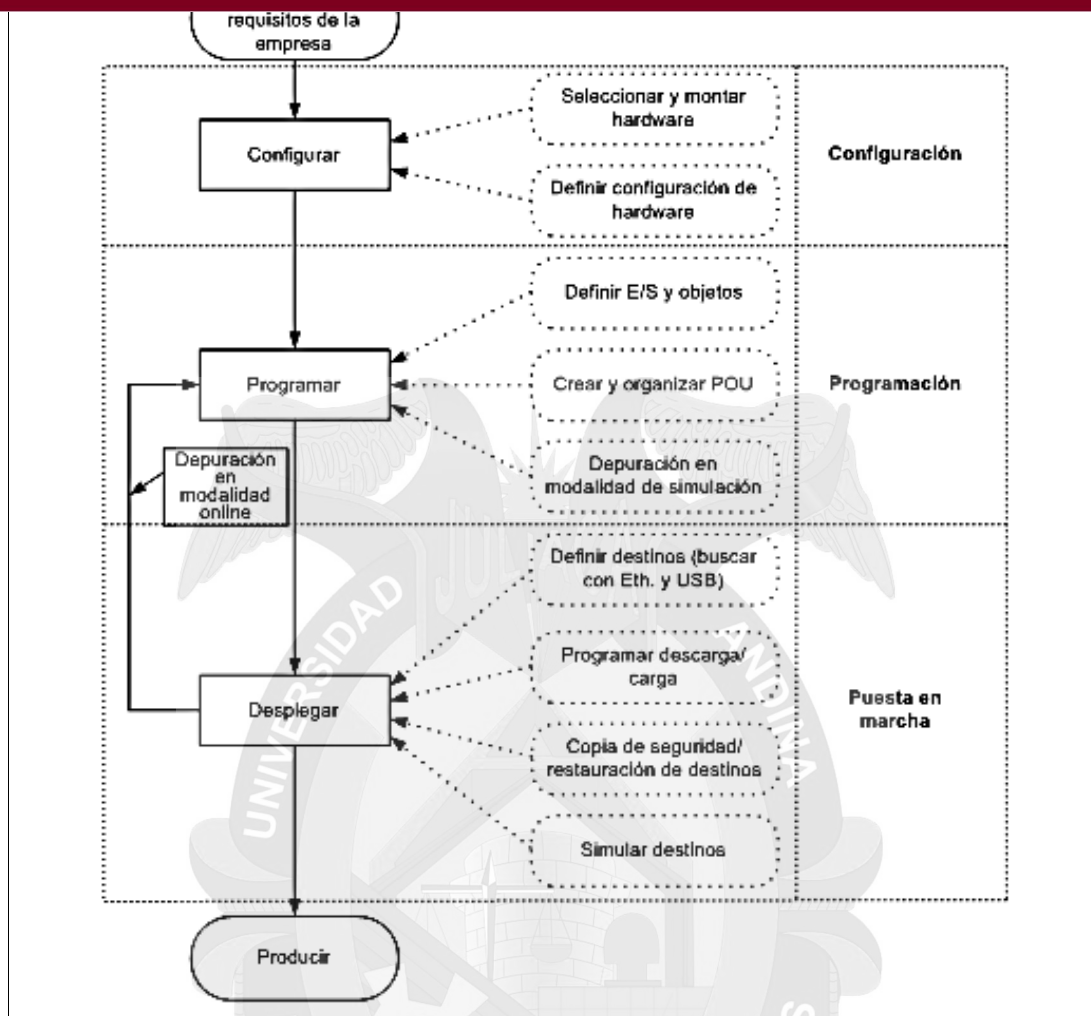


Figura 76. Fases de un proyecto en SoMachin Basic

Fuente: Guía de desarrollo de programas de SoMachin Basic

“Las modalidades de funcionamiento proporcionan control para desarrollar, depurar, monitorizar y modificar la aplicación cuando el controlador está conectado o no conectado a SoMachine Basic” (28).

SoMachine Basic puede funcionar en las siguientes modalidades.

- Modalidad offline
- Modalidad online
- Modalidad de simulador

"SoMachine Basic funciona en modalidad offline cuando no se ha establecido ninguna conexión física con un controlador lógico, en modalidad offline, primero se configura SoMachine Basic de tal modo que coincida con los componentes de hardware de destino y a continuación, se desarrolla la aplicación" (28).

4.3.3.3.5.2. Modalidad online

SoMachine Basic funciona en modalidad online cuando hay un logic controller conectado físicamente al PC. "En la modalidad online, se puede proceder a descargar la aplicación al Logic Controller (no se puede descargar y cargar una aplicación en la modalidad de simulador porque la aplicación está guardada directamente en el Logic Controller simulado)" (28).

"SoMachine Basic sincronizará la aplicación en la memoria del PC con la versión almacenada en el logic controller, lo que le permite depurar, supervisar y modificar la aplicación, se puede modificar determinados elementos de un programa en modalidad online" (28).

4.3.3.3.5.3. Modalidad de simulador

"SoMachine Basic funciona en la modalidad de simulador cuando se ha establecido una conexión con un controlador lógico simulado. En la modalidad de simulador, no se ha establecido ninguna conexión física a un Logic Controller; en su lugar, SoMachine Basic simula una conexión a un Logic Controller y a los módulos de ampliación para ejecutar y probar el programa" (28).

4.3.3.3.6. Inicio en SoMachin Basic V1.5 SP1

La ventana página de inicio, es siempre la primera ventana que se muestra al iniciar SoMachine Basic, la ventana Página de inicio consta de las siguientes ventanas:

información de la licencia.

- **Proyectos.-** Permite crear un nuevo proyecto o abrir un proyecto existente.
- **Conectar.-** Permite conectarse a un controlador lógico, descargar/cargar la aplicación a/desde el controlador, realizar una copia de seguridad/restauración de la memoria del controlador y hacer parpadear los LED del controlador conectado.
- **Plantillas.-** Permite crear un nuevo proyecto usando un proyecto de ejemplo como plantilla.
- **Ayuda .-** Para visualizar la ayuda online, documentos relacionados, material de formación y tutoriales.
- **Acerca de.-** Muestra información sobre SoMachine Basic.
- **Salir.-** Permite salir de SoMachine Basic.



Figura 77. Página de inicio SoMachine Basic 1.4 SP1

Fuente: Elaboración propia

superior de la ventana principal, una barra de herramientas contiene iconos que permiten realizar tareas comunes, como volver a la ventana página de inicio" (28).

"Al lado de dicha barra de herramientas se encuentra la barra de estado, que muestra mensajes informativos sobre el estado actual de la conexión al controlador lógico" (28).

"Debajo de esta, la ventana principal se divide en una serie de módulos. Cada pestaña controla una fase diferente del ciclo de desarrollo, para desarrollar una aplicación, consulte los módulos de izquierda a derecha" (28):

- **Propiedades.-** Configure las propiedades del proyecto.
- **Configuración.-** Defina la configuración de hardware del controlador lógico y los módulos de ampliación asociados.
- **Programación.-** Desarrolle su programa en uno de los lenguajes de programación compatibles.
- **Visualización.-** Cree una interfaz de operario para el módulo TMH2GDB Visualización gráfica remota
- **Puesta en funcionamiento.-** Gestiona la conexión entre SoMachine Basic y el controlador lógico, aquí se la carga y descarga de aplicaciones, se prueba la aplicación y pone en marcha.



Figura 78. Ventana principal SoMachine Basic

Fuente: Elaboración propia en SoMachine Basic

En la pestaña **Configuración**, muestra la representación gráfica de la configuración de hardware de los dispositivos. La configuración de hardware de un proyecto puede ser:

- Sólo un controlador
- Un controlador con cartucho
- Un controlador con módulos de ampliación
- Un controlador con cartucho y módulos de ampliación

El área del editor muestra:

- Una breve descripción sobre el dispositivo cuando se hace clic en la imagen del dispositivo o en el nodo de dispositivo en el árbol de hardware.
- Las propiedades de configuración del elemento seleccionado en el árbol de hardware.

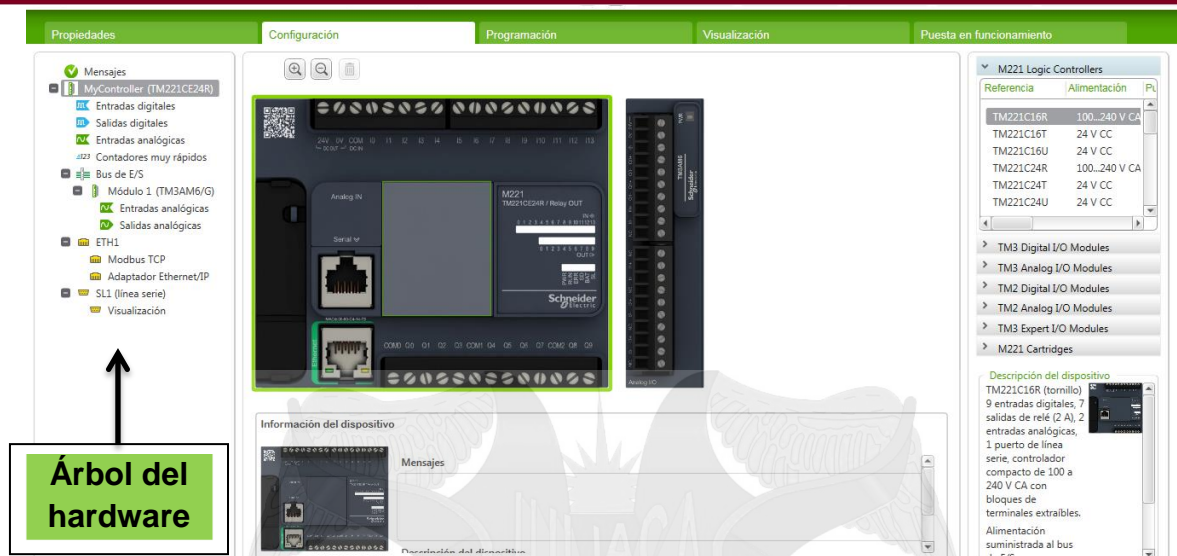


Figura 79. Configuración del controlador y su módulo de ampliación

Fuente: Elaboración propia en SoMachine Basic

4.3.3.3.7. Programación del controlador en SoMachin Basic V1.5 SP1

“La programación del controlador en SoMachin Basic, se realiza empleando el diagrama de contactos (LD) en el cual se emplearan los objetos de entradas y salidas (E/S), los cuales se puede ubicar en la ficha de herramientas en el área de la izquierda de la ventana *Programación*” (28).

- Entradas digitales (%I)
- Salidas digitales (%Q)
- Entradas analógicas (%IW)
- Salidas analógicas (%QW)

La programación se basa en una lógica intuitiva, que se encarga de control de los equipos en modo automático, evitando el arranque de las bombas si no se cuenta con líquido en el recipiente y también evita el sobrellenado de los mismos, gracias a los discretos sensores de campo.

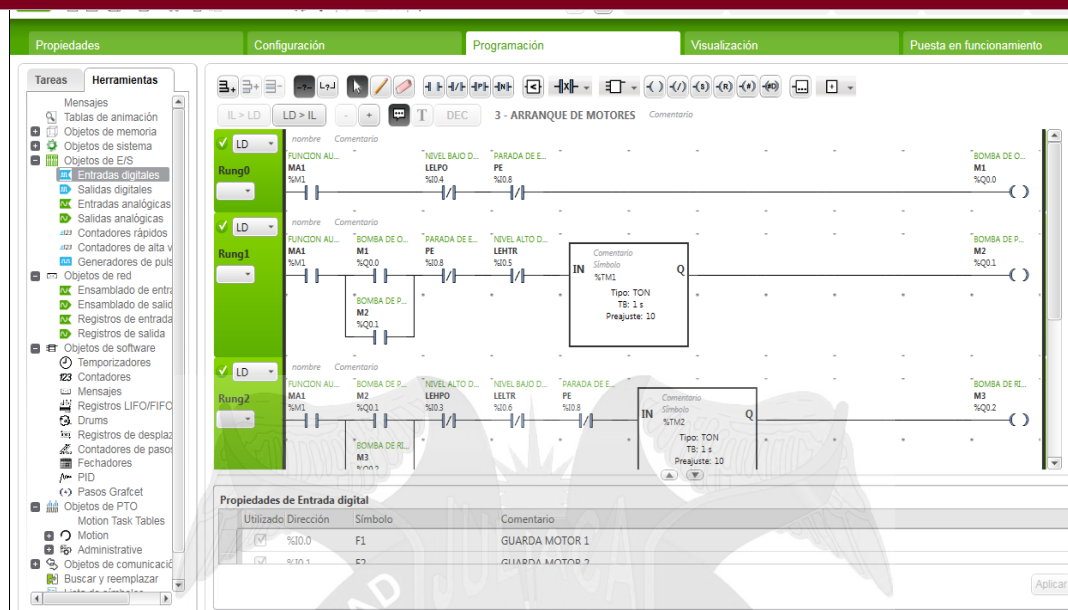


Figura 80. Diagrama de contactos en SoMachine Basic

Fuente: Elaboración propia

En el direccionamiento de las señales analógicas para la programación, se cuenta con 02 entradas analógicas de 0-10 Vcc, incorporados en el PLC, Modicon TM221CE24R, adicionalmente se consideró agregar un módulo de entradas y salidas analógicas mixtas TM3AM6, con 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.

Para nuestro caso en particular, se tiene la entrada de señal 0-10Vcc proveniente del sensor de nivel de solución en la torre de desoxigenación, donde 0 voltios es equivalente al 0% de nivel y 10 voltios al 100% de nivel, estos datos serán ingresados en la programación del PLC, considerando una salida analógica de 4-20mA, que se empleará en la activación de la válvula de control con posicionador electro-neumático, donde la programación se realiza utilizando bloques de operaciones, incluida la función PID, como se muestra en la imagen siguiente.

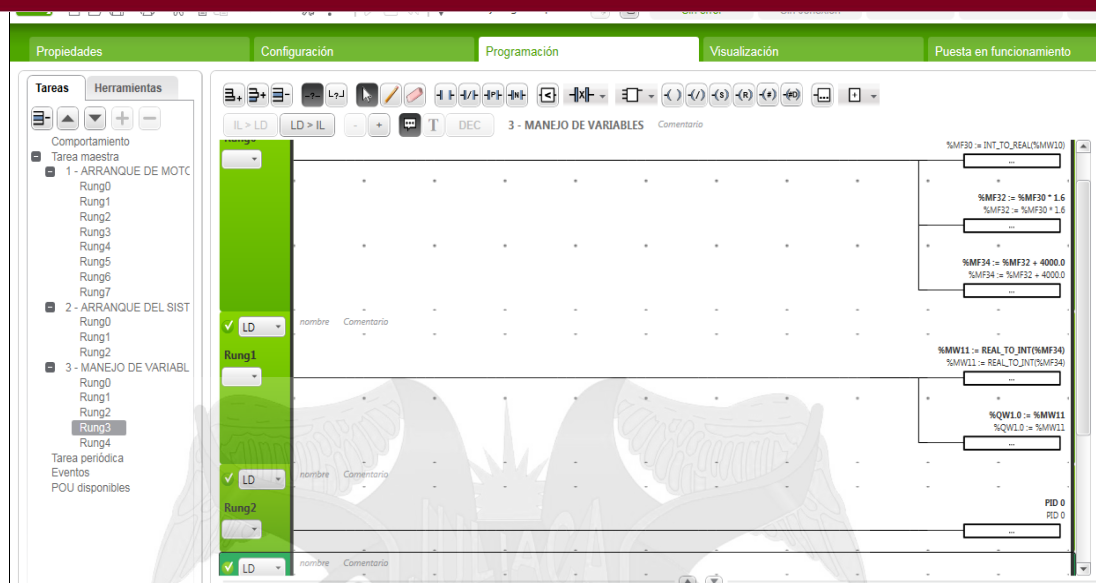


Figura 81. Manejo de variables en SoMachin Basic

Fuente: Elaboración propia

4.3.3.3.8. Sintonización

La sintonización consiste en regular parámetros en el controlador para controlar un proceso dinámico de manera continua, para el cual emplearemos el asistente PID en SoMachine Basic, con el propósito de estabilizar el nivel de solución en la torre de vacío, tan cerca como sea posible del valor de consigna deseado.

Un control proporcional, integral, diferencial (PID) es un mecanismo de retroalimentación de bucle de control (controlador) ampliamente usado en los sistemas de control industriales. “El controlador PID utiliza un algoritmo que implica tres parámetros constantes independientes: los valores proporcional, integral y diferencial, que se identifican como P, I y D respectivamente” (27).

siguientes:

- Entrada analógica
- Conversión lineal de la medida configurable
- Alarma alta o baja en entrada configurable
- Salida analógica o PWM
- Desconexión de la salida configurable
- Acción directa o inversa configurable
- Función de ajuste automático

Se cuenta con 4 modalidades de funcionamiento distintas que pueden configurarse en la ficha **General** del **Asistente de PID** en SoMachine Basic, las cuales son: (27)

- Modalidad PID
- Modalidad AT + PID
- Modalidad AT
- Dirección de palabra

Para nuestro sistema de control se empleara la modalidad PID, que está activa de forma predeterminada cuando se inicia el controlador PID, se puede elegir el tipo de corrector del controlador (PID o PI) en la ficha **PID** de la pantalla **Asistente de PID**. Si está seleccionado el tipo de corrector PI, el campo **Td** de tiempo diferencial está deshabilitado. (27)



Figura 82. Asistente de PID SoMachine Basic

Fuente: Elaboración propia

En la pestaña de **Entrada**, se ingresa la dirección de la entrada analógica utilizada como medida, en este caso la dirección %IW1.1, que pertenece al valor enviado desde el sensor de nivel instalado en la torre de vacío.

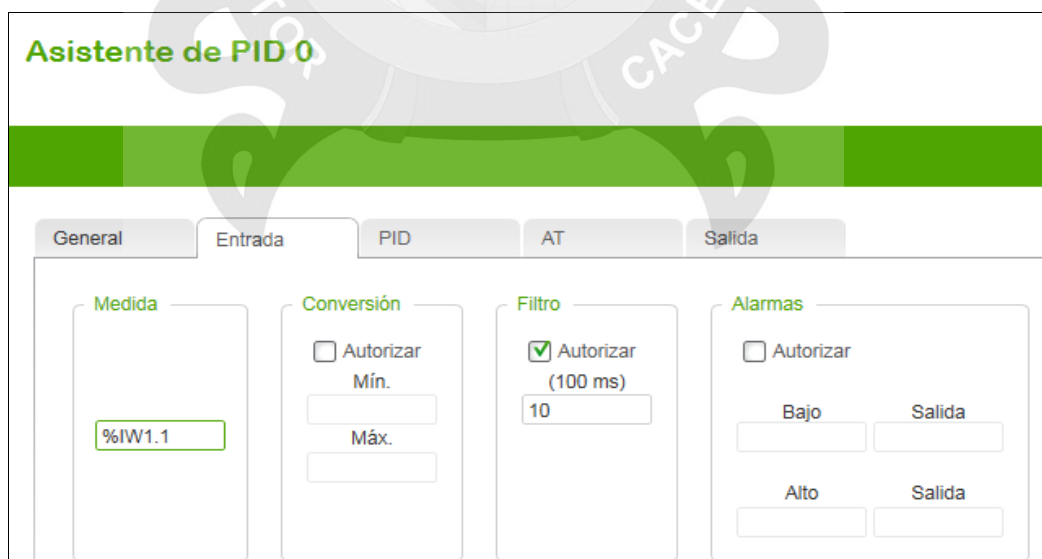


Figura 83. Asignación la dirección de entrada PID

Fuente: Elaboración Propia

memoria o una entrada analógica. Los Parámetros (K_p , T_i y T_d) deben ser direcciones de palabras de memoria (%MWxx).

Asistente de PID 0



Figura 84. Asignación de Consigna y direcciones de los parámetros PID

Fuente: Elaboración Propia

En la pestaña Salida, se ingresa la dirección de la palabra de memoria o salida analógica y presionar el botón de aplicar para terminar la configuración PID, es preciso mencionar que para el cambio de estas direcciones solo se puede acceder a esta ficha en modalidad offline.



Figura 85. Asignación de la dirección de salida analógica

Fuente: Elaboración Propia

consigna y los parámetros: Kp, Ti y Td, se emplea la tabla de animación, donde se puede cambiar y visualizar los valores de la dirección de entrada del sensor, el valor de la salida analógica que se está enviando a la válvula de control, en funcionamiento.

Tabla de animación_0						
		Añadir		Insertar		Base de tiempo 5 s
Utilizado	Trazado	Dirección	Símbolo	Valor	Forzar	Comentario
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW21	KP	450		Ganancia proporcional
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW22	TI	400		Tiempo Integral
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW23	TD	2		Tiempo Derivativo
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW10	OUT_PID	0		Salida del PID sin escalamiento
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW11	OUT_MA	4000		Salida escalada en mA
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%IW1.1	IN_SENSOR	0		Entrada del sensor de Nivel
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%QW1.0	OUT_1	4000		Salida para Válvula de Control
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	%MW20	SET_POINT	0		Valor de consigna

Figura 86. Tabla de animación para ingresar valores de las direcciones

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3.3.9. Entorno Grafico con Vijeo Designer 6.2

Para contar con un entorno gráfico de la planta se empleará el software de Vijeo Designer, que sirve para el desarrollo de las aplicaciones para usuarios del HMI (Interface Hombre Maquina) que nos permitirá interactuar con el proceso en la planta, sobre todo con el ingreso de parámetros del sistema de control de nivel de la torre de vacío.

Un proyecto en Vijeo Desgner, incluye toda la información necesaria (como dibujos, alarmas e información de hardware) para crear un ambiente para la aplicación de supervisión creado por el usuario, esta información tiene que ser compatible con las direcciones de entradas y salidas asignadas en la programación del PLC en SoMachine Basic.

La siguiente tabla muestra los requisitos del sistema para el Editor de Vijeo Designer.

Requisito	Editor de Vijeo Designer
Plataforma	PC
CPU	Se recomienda Pentium 4 - 2 GHz o más rápido
Memoria	Mínimo de 1 GB (se recomienda 2 GB o más)
Espacio disponible en el disco	2.0 GB o más en el disco duro
Sistema operativo	Microsoft Windows XP Professional (Service Pack 3 o superior), Microsoft Windows 7 de 32 y 64 bits
Explorador Web	Microsoft Internet Explorer 6.0 (Se recomienda la versión 7 o superior)

Tabla 25, Requisitos para el sistema Vijeo Designer

Fuente: Manual de ayuda del Software de Vijeo Designer 6.2

Para generar un proyecto de entorno gráfico, es preciso seguir la siguiente secuencia:


- 
1. Instalar de Vijeo Designer
 2. Crear un proyecto
 3. Configurar un destino
 4. Configurar la comunicación con el HMI
 5. Realizar las plantillas / los paneles
 6. Guardar el proyecto
 7. Ejecutar una comprobación de errores
 8. Compilar el proyecto
 9. Instalar V.D. Runtime en la máquina de destino
 10. Descargar el proyecto en la máquina de destino
 11. Ejecutar el proyecto



Figura 87. Diseño del entorno gráfico con Vijeo Designer 6.2

Fuente: Elaboración propia

El interface del software de Vijeo Designer, cuenta con las siguientes ventanas de navegación y barras de herramientas.

1. Barras de herramientas
2. Navegador.
3. Área de Trabajo
4. Inspector de Propiedades
5. Zona de retroalimentación/Lista de gráficos
6. Caja de herramientas

La idea de emplear el entorno grafico está orientada a contar con un medio, que nos permita evaluar el comportamiento del sistema de control implementado en la planta en tiempo real y de esta forma generar las tendencias de las señales para la sintonización del PID.



CAPÍTULO V: CÁLCULO Y RESULTADOS

Los cálculos efectuados, se emplearon para el escalamiento de las señales analógicas, referentes a la equivalencia de la posición de la válvula de control con respecto a una señal de salida analógica de 4 – 20mA.

“Básicamente los 4mA comandan el cierre de la válvula de control, mientras que 20mA comandan la apertura total de la válvula de control. La señal 4-20mA, representa la variable del proceso (PV) y el elemento final de control (la variable manipulada o MV), que está representada por el posicionador de la válvula de control en una escala de 0 – 100%” (21), tal como se muestra en el siguiente figura.

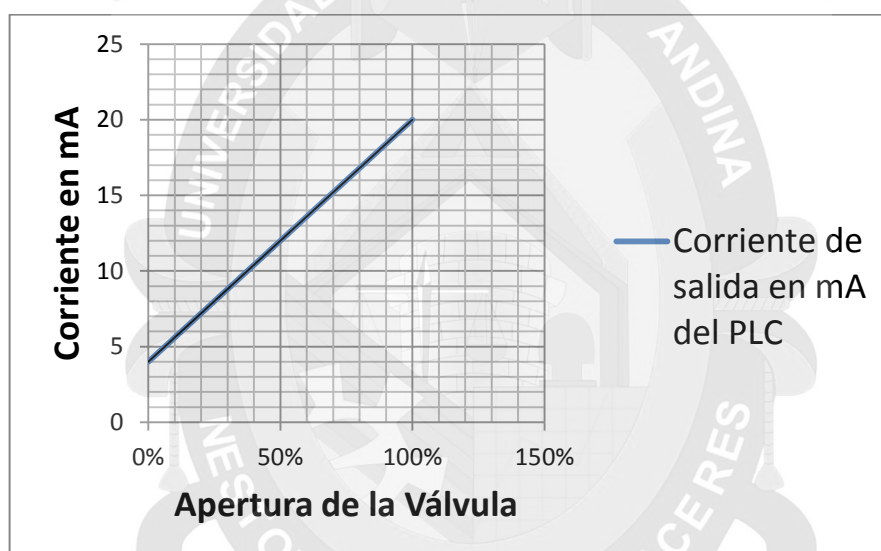


Figura 88. Relación de corriente (mA) y apertura del posicionador de la válvula

Fuente: Elaboración propia

“Siendo una función lineal, se emplea la ecuación de una recta para proporcionar las señales medidas a sus respectivos valores de corriente” (21):

$$y = mx + b$$

Formula 13

y = Señal de corriente en mA

x = Apertura de la válvula de 0-100%

m = Pendiente de la recta

b = punto de intercepto respecto al eje "y"

Este cálculo es muy útil cuando buscamos determinar el valor de señal 4-20mA de salida del módulo analógico del PLC y la posición del vástago de una válvula. Para la ecuación lineal, podemos determinar el valor de la pendiente (m) dividiendo el incremento de corriente, entre la carrera de la válvula, es decir los rangos de 4-20mA y rango de apertura de 0 -100 %.

$$m = \frac{20-4}{100-0} = 0.16 \quad \text{Formula 14}$$

$$y = (0.16) x + b$$

Para calcular el intercepto (b), resolvemos la ecuación en un punto determinado (x - y), como en este caso, tenemos para el eje "x" el 0% y en el eje "y"- 4 mA y calculamos:

$$y = (0.16) x + b$$

$$4 = (0.16) 0 + b$$

$$4 = 0 + b$$

$$4 = b$$

Teniendo los datos de "m" y "b", para una relación entre la señal 4-20mA y una señal de apertura 0-100% ya se puede determinar cuántos mA representan cualquier porcentaje de señal, por ejemplo, 50% corresponderá a una señal de corriente de:

$$y = mx + b \quad \text{Formula 13}$$

$$y = (0.16) x + b$$

$$y = (0.16) 50 + 4$$

$$y = 8 + 4$$

$$y = 12$$

rango de 4-20mA. Para efectos de escalamiento de señales se puede emplear también la siguiente representación:

$$Y_0 = \frac{(Y_{\max} - Y_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \times (X_0) + Y_{\min}$$

Formula 15

Dónde:

Y_0 = Señal requerida en mA

X_0 = Apertura de válvula requerida en %

Y_{\max} = 20mA

Y_{\min} = 4mA

X_{\max} = 100%

X_{\min} = 0%

Teniendo ambos métodos para hallar as equivalencias de señales que son requeridas para el escalamiento de señales que ingresan en la programación del PLC y para efectos de prueba de ensayos se elaboró el siguiente cuadro con las equivalencias que se requerirán para nuestro sistema de control.

constante de 20 L/min

Estados de prueba	Posición de apertura de la válvula de control	Señal de Corriente en mA que sale del PLC
1	0%	4
2	5%	4.8
3	10%	5.6
4	15%	6.4
5	20%	7.2
6	25%	8
7	30%	8.8
8	35%	9.6
9	40%	10.4
10	45%	11.2
11	50%	12
12	55%	12.8
13	60%	13.6
14	65%	14.4
15	70%	15.2
16	75%	16
17	80%	16.8
18	85%	17.6
19	90%	18.4
20	95%	19.2
21	100%	20

Tabla 26. Tabla de equivalencia de valores de señales en mA y voltios

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO VI: ANALISIS DE RESULTADOS

tratamiento de solución clarificada en un proceso Merrill Crowe, se realizó la configuración del controlador lógico programable M 221, que integra la secuencia de arranque de los equipos de bombeo y el control del nivel de solución en la torre de vacío, manteniendo la estabilidad del nivel de la columna de solución contenida, de forma automática durante el arranque y la operación de la planta.

Se logró establecer un adecuado manejo del software de la línea de Schneider Electric tales como el SoMachine Basic y el Vijeo Designer, para realizar el análisis del sintonización del PID, haciendo uso de la tabla de tendencias

El uso de la tabla de tendencias nos ayuda a evaluar el comportamiento de las señales analógicas, los cuales son captados por el módulo de entradas y salidas analógicas del PLC M221, y cuentan con una dirección de palabra en la programación de SoMachin Basic V1.5, estas direcciones son cargados al editor de variables en Vijeo Designer 6.2, para generar el entorno gráfico de la tendencia de señales.

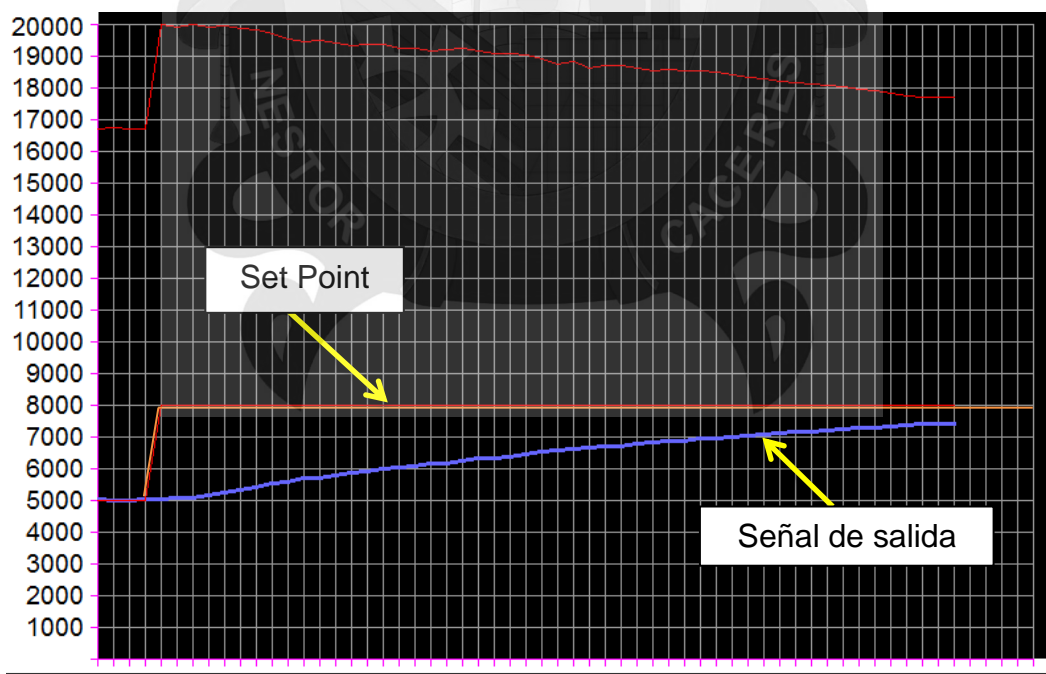


Figura 89. Sintonización PID con la tabla de tendencias en Vijeo Designer 6.2

Fuente: Elaboración propia



salida se va ajustando al set point, en función al controlador PID, este comportamiento es forzado para ver la respuesta del sistema de control, en realidad durante la operación de planta no se presenta este tipo de cambios bruscos en el set point, de manera que el sistema de control de nivel, funciona de forma correcta.

Al término del presente proyecto de tesis, se cuenta con una planta Merrill Crowe, con el equipamiento Mecánico, Eléctrico y Electrónico (Mecatrónico) necesarios para realizar las pruebas de señales analógicas, para control de sistemas electroneumáticos operación y mantenimiento, de un sistema automatizado en un entorno real de un proceso hidrometalurgico de recuperación de oro, que ayudara al interesado a plantear alternativa de mejora para optimizar el proceso empleando herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad.



CAPÍTULO VII: ANALISIS ECONOMICO

En el análisis económico del presente proyecto, se ha elaborado tomando en cuenta el análisis de costos unitarios, en los rubros de los costos directos, e indirectos y con ello determinar el costo total de elaboración del proyecto de tesis.

7.1.1. Costos directos

En el costo directo se considera la adquisición de materiales, clasificados según su aplicación, considerando aquellos adquiridos con precios del mercado local y aquellos que materiales que tuvieron que ser adquiridos mediante pedidos a proveedores especializados.

Materiales de Reservorios, tuberías y accesorios					
Item	Descripción	U.M.	Cantidad	C.U.	C.P
1	Tubo de polipropileno homopolímero 1/2"	Und.	1	S/. 22.00	S/. 22.00
2	Tubo de polipropileno homopolímero 1"	Und.	0.25	S/. 28.00	S/. 7.00
3	Curva de 90° PP-H 1/2"	Und.	12	S/. 2.50	S/. 30.00
4	Curva de 90° PP-H 1"	Und.	3	S/. 3.50	S/. 10.50
5	Unión universal de 1/2"	Und.	12	S/. 3.50	S/. 42.00
6	Unión universal de 1"	Und.	3	S/. 5.50	S/. 16.50
7	Unión simple 1/2"	Und.	2	S/. 1.50	S/. 3.00
8	Unión Te 1/2"	Und.	1	S/. 2.00	S/. 2.00
9	Tuercas de pvc de 1/2"	Und.	16	S/. 1.00	S/. 16.00
10	Niples de PP-H de 1/2"	Und.	13	S/. 1.50	S/. 19.50
11	Cinta de teflón 3/4"	Und.	20	S/. 2.00	S/. 40.00
12	Válvula de bola de PVC de 1/2"	Und.	7	S/. 6.00	S/. 42.00
13	Válvula de bola de PVC de 1"	Und.	1	S/. 8.00	S/. 8.00
14	Válvula de pie de PVC de 1"	Und.	2	S/. 15.00	S/. 30.00
15	Reducción de 1-1/2" - 1/2"	Und.	2	S/. 5.00	S/. 10.00
16	Manómetro de 100 psi	Und.	2	S/. 50.00	S/. 100.00
17	Filtro de agua	Und.	2	S/. 45.00	S/. 90.00
18	Reservorio de vidrio	Und.	1	S/. 60.00	S/. 60.00
19	Reservorios de plástico	Und.	5	S/. 25.00	S/. 125.00
TOTAL					S/. 673.50

Tabla 27. Cuadro de materiales reservorios, tuberías y accesorios

Fuente: Elaboración propia

Item	Descripción	U.M.	Cantidad	C.U.	C.P.
1	PLC Modicon TM221CE24R	Und.	1	S/. 1,130.00	S/. 1,130.00
2	Módulo E/S analógicas TM3AM6	Und	1	S/. 950.00	S/. 950.00
3	Controlador de nivel de líquidos	Und	1	S/. 180.00	S/. 180.00
4	Sensor de Nivel	Und	1	S/. 3,200.00	S/. 3,200.00
5	Tarjeta Arduino NANO	Und	1	S/. 45.00	S/. 45.00
6	Pantalla LCD y adecuación	Und	1	S/. 35.00	S/. 35.00
7	Sensor de Caudal YF-201	Und	1	S/. 200.00	S/. 200.00
8	Contactores	Und	3	S/. 40.00	S/. 120.00
9	Relé Térmico	Und	3	S/. 35.00	S/. 105.00
10	Relé auxiliar de mando 220VAC	Und	1	S/. 25.00	S/. 25.00
11	Relé 24VCC	Glb	4	S/. 10.00	S/. 40.00
12	Interruptores de Leva	Und	2	S/. 20.00	S/. 40.00
13	Parada de emergencia	Und	1	S/. 15.00	S/. 15.00
14	Pulsadores	Und	10	S/. 10.00	S/. 100.00
15	Lámparas 220VAC	Und	2	S/. 8.00	S/. 16.00
16	Interruptores Termo magnéticos	Glb	6	S/. 20.00	S/. 120.00
17	Cables de fuerza	Glb	1	S/. 200.00	S/. 200.00
18	Cables de control	Glb	1	S/. 210.00	S/. 210.00
19	Tableros eléctricos	Und	2	S/. 220.00	S/. 440.00
20	Válvula con posicionador electroneumático	Und	1	S/. 4,300.00	S/. 4,300.00
21	Unidad de mantenimiento	Und	1	S/. 200.00	S/. 200.00
22	Conectores rápidos	Und	5	S/. 8.00	S/. 40.00
23	Mangueras neumáticas	Und	1.5	S/. 5.00	S/. 7.50
24	Electrobomba Periférica	Mtrs	3	S/. 130.00	S/. 390.00
25	Motores 24VCC	Und	2	S/. 40.00	S/. 80.00
26	Manómetro de 100 psi	Und.	2	S/. 50.00	S/. 100.00
				TOTAL	S/. 12,288.50

Tabla 28. Materiales de equipamiento eléctrico y de control

Fuente: Elaboración propia

Item	Descripción	U.M.	Cantidad	C.U.	C.P.
1	Tubo metálico cuadrado 25 x 25 x 0.9	Und.	2	S/. 18.00	S/. 36.00
2	Tubo metálico Rectangular 50 x 25 x 0.9	Und	1	S/. 23.00	S/. 23.00
3	Tubo metálico cuadrado 20 x 20 x 0.11	Und	0.5	S/. 15.00	S/. 7.50
4	Base metálica de 700 x 600 x 25	Und	1	S/. 40.00	S/. 40.00
5	Tornillos auto perforantes 3/16 x 1-1/2"	Und	24	S/. 0.50	S/. 12.00
6	Electrodo Cellocord AP 6011	Und	2	S/. 14.00	S/. 28.00
7	Pintura base Zincromato	Gln	0.5	S/. 35.00	S/. 17.50
8	Pintura Esmalte Naranja	Gln	0.5	S/. 35.00	S/. 17.50
9	Pintura Esmalte Verde	Gln	0.5	S/. 35.00	S/. 17.50
10	Pintura Esmalte Blanco	Gln	0.5	S/. 35.00	S/. 17.50
11	Thinner Acrílico	Gln	6	S/. 18.00	S/. 108.00
12	Trapo Industrial	Kg	1	S/. 3.00	S/. 3.00
				TOTAL	S/. 327.50

Tabla 29. Cuadro de materiales de estructura metálica y pintura

Fuente: Elaboración propia

Luego de la revisión de costo de los materiales según su aplicación, se considera, en el siguiente cuadro resumen se considera los costos de la mano de obra, equipos, herramientas y transporte de materiales al punto de ensamblaje, estas actividades están involucradas directamente en la implementación del proyecto.

Costos Directos		
Item	Descripción	Costo
1	Materiales de reservorios, tuberías y accesorios	S/. 673.50
2	Materiales para la estructura metálica y pintura	S/. 327.50
3	Equipamiento del sistema eléctrico y control	S/. 12,288.50
4	Etiquetado Impresión y empastado	S/. 600.00
5	Equipos y herramientas	S/. 700.00
6	Mano de obra	S/. 4,500.00
7	Transporte	S/. 180.00
Total		S/. 19,269.50

Tabla 30. Cuadro resumen de los costos directos

Fuente: Elaboración propia

En los costos indirectos se indica los adicionales a los costos directos, considerados como gastos administrativos y los medios de estudios realizados en el proyecto de tesis, estos valores de costos indirectos se detallan en la siguiente tabla:

Costos Indirectos		
Item	Descripción	Costo
1	Diseño	S/. 700.00
2	Acceso a internet	S/. 350.00
3	Energía eléctrica	S/. 250.00
4	Utilidad	S/. 0.00
Total		S/. 1,300.00

Tabla 31. Cuadro resumen de costos indirectos

Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Costo total

El costo total está representado por la suma de los costos directos e indirectos, donde se tiene un costo total del proyecto de **S/. 20,569.50**, los cuales son financiados completamente por el bachiller quien presenta la tesis.

Costos Totales		
Item	Descripción	Costo
1	Costo Directo	S/. 17,269.50
2	Costo Indirecto	S/. 1,300.00
Total		S/. 20,569.50

Tabla 32. Cuadro resumen del costo total

Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO VIII: DISCUSIÓN



El presente proyecto de tesis nos permite conocer aspectos importantes de las actividades mineras y sobre uno de los procesos más empleados en la recuperación de minerales con oro diseminado y de baja ley a partir de soluciones cianuradas, mediante el proceso Merrill Crowe, donde se busca minimizar las pérdidas de producción, que se pudieran presentar durante la operación de la planta y como parte de ese aporte, es el mejoramiento en el tratamiento de la solución clarificada, con la implementación del control automático del nivel de solución clarificada en la torre de desoxigenación, eliminando de esa forma la causa principal de las paradas forzadas de planta por nivel bajo u alto, que genera pérdidas considerables por el tiempo que toma estabilizar el nivel o reiniciar la operación.

Al término del presente proyecto, se pudo lograr la implementación de una planta representativa, que nos ayuda a identificar las principales etapas de un proceso de recuperación de oro mediante la técnica del proceso Merrill Crowe.

La implementación de la planta, nos permitió realizar las pruebas del sistema automatizado en la etapa de tratamiento de solución clarificada, logrando la estabilidad de nivel de la columna de solución en la torre de vacío, este sistema sin duda permite mejorar la operación de la planta y abre la posibilidad de emplear este sistema de recuperación de oro, para reemplazar los procesos tradicionales donde todavía se utiliza el mercurio, sobre todo en la minería artesanal de la región de Puno.

Si se implementa el proceso Merrill Crowe, con las características de la planta experimental, se daría pase a la mejora de las condiciones de trabajo de los mineros artesanales y les daría la opción de procesar el mineral extraído de mina, con la aplicación de una tecnología de minería moderna y con menor impacto ambiental.



A partir de los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, es posible concluir que.

- Se logró alcanzar el objetivo de diseñar e implementar un sistema automatizado para la etapa de tratamiento de solución clarificada en un proceso Merrill Crowe.
- La implementación de la planta de procesos Merrill Crowe, permitió realizar las pruebas del sistema automatizado y analizar la ventaja frente al comportamiento típico de la operación manual.
- Durante la implementación de la planta se pudo experimentar los procesos de adquisición de materiales y el adecuado seguimiento de los pedidos efectuados a los proveedores, para no generar retrasos en el montaje y puesta en servicio.
- La adquisición del PLC Modicon M221 con modulo de entradas y salidas analógicas y la válvula de control con posicionador electroneumático, Permitirá al estudiante de Ing. Mecatrónica, poner en práctica los métodos de programación de sistemas de automatización, practicar con comunicaciones entre dispositivos y elementos de campo en un entorno real.
- En definitiva, el sistema SCADA integra los recursos de control e información en tiempo real de la planta, visualizando e interactuando con el proceso mediante sus representaciones gráficas.



- Se recomienda aplicar el sistema de automatización para la etapa de tratamiento de solución clarificada del proceso Merrill Crowe, de la U.M. ANAMA considerando la integración de los procesos complementarios como el lavado de los filtros y dosificación de zinc.
- Se recomienda hacer uso de la implementación de la planta experimental para identificar estrategias de mejora para optimizar el proceso Merrill Crowe con ayuda de la Automatización Industrial.
- Se recomienda implementar un HMI Magelis XBT GT, en reemplazo del LCD para tener las lecturas del caudal y el nivel de la torre de vacío, de esta forma tener un terminal gráfico con la opción al cambio de parámetros de operación si necesidad de una PC.
- Se recomienda hacer uso del procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS), elaborado para la operación de la planta adjunta en los anexos.
- Establecer un programa mantenimiento de equipos en función al tiempo de servicio, para garantizar la operatividad continua de la planta de procesos según la guía de mantenimiento adjunta en los anexos.
- Se recomienda realizar la prueba de la rotación del eje del motor eléctrico antes de arrancar la planta, para descartar el atascamiento del impulsor de la bomba, que podría provocar el disparo del relé térmico.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Manrique M. JA. Manejo de Pilas de Lixiviación de Oro en la Minera Yanacocha. Extracto de Tesis. Lima: Universidad Mayor de San Marcos, Metalurgia; sf.
2. Melly RT. Proyecto de automatización del proceso Merrill Crowe. 2010. Publicado por Businesses Start E.I.R.L.
3. Ojeda Ch. CM. Diseño de un Sistema de Automatización Industrial para el Bombeo de Aguas Acidas. Tesis. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Electricidad y Electronica; 2012.
4. Carbajal Mamanchura J. Optimización en la operación de una planta de Precipitación de Oro con Polvo de Zinc. Tesis. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica; 2012.
5. Ortega A. K. Recuperación de oro desde soluciones cianuradas por intercambio iónico de la compañía minera aurífera Santa Rosa. Tesis. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Geológica, Minería y Metalúrgica; 2009.
6. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía - Minería. [Online].; 2017 [cited 2017 Julio 23. Available from: <http://www.snmpe.org.pe/mineria.html>.
7. Cariaga MEC. blogger. [Online].; 2010 [cited 2016 Octubre 20. Available from: <http://www.bloggerminera.comcreate-b.blogspot.pe/>.
8. Grupo Antofagasta Minerals. Etapas de Proceso Productivo de una Mina. Curso de Minería para periodistas, SONAMI. 2012 Junio; I(1).
9. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Contribución al Desarrollo Económico y Social. In Minería Peruana; 2010; Lima. p. 1-112.
10. Azareño Ortiz A. Recuperación de Oro y Plata de minerales por Heap Leaching. Revista del Instituto de investigación de la facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Geografía. 2001 Junio; 4(7).
11. Ryder DW. Wikipedia, la enciclopedia libre. [Online].; 2016 [cited 2016 Junio 15. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Merrill-Crowe_process.
12. Marquina J. La clarificación de la solución pregmat como parámetro fundamental en la recuperación de oro y plata a través del proceso Merrill Crowe. In Encuentro tecnología e investigación; 2015; Lima. p. 2-17.



- . [cited 2016 Junio 21. Available from:
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/5729/Capitulo4.pdf>.
- 14 Chique JVA. Ampliación de lo equipos del Proceso Merrill Crowe de 85 m³/hr
. A 90 m³/hr de Solución Pregnant en la Minera Aurífera RETAMAS S.A. Tesis.
Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Puno; 2014. Report No.: S/N.
- 15 Almeida EAR. TEMAS DE MINERÍA PARA ESTUDIANTES Y
. PROFESIONALES. [Online].; 2014 [cited 2016 Junio 6. Available from:
<http://temasdemineria.blogspot.pe/2014/11/procesamiento-de-mineral-um-apumayo.html>.
- 16 Tecnología Minera. Biblioteca Virtual - Tecnología Minera. [Online].; 2013 [cited
. 2016 Febrero 10. Available from:
<http://www.tecnologiamineracom.com/tm/biblioteca/articulo.php?id=95>.
- 17 Creus A. Instrumentación Industrial. 8th ed. Alfaomega , editor. Mexico:
. Marcombo; 2010.
- 18 F. Ebel SIGPDS. Fundamentos de la técnica de automatización. 1st ed. Festo ,
. editor. Alemania: Festo didactic; 2008.
- 19 micro@micro.com.ar. www.micro.com.ar. [Online].; s/f [cited 2017 Enero 11.
. Available from:
<http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>.
- 20 López EP. Dialnet-LosSistemasSCADAEnLaAutomatizacionIndustrial-
. 5280242.pdf. [Online].; 2015 [cited 2016 11 21. Available from:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5280242.pdf>.
- 21 José VJ. Instrumentación y Control.net. [Online].; 2010 [cited 2016 Julio 15.
. Available from: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/222-empezemos-con-los-elementos-finales-de-control--v%C3%A1lvulas-de-control.html>.
- 22 Tecsup. Actuadores de procesos. 1st ed. industrial E, editor. Lima: Tecsup
. Virtual; 2007.
- 23 Ogata K. Ingeniería del Control Moderna. 5th ed. Romo MM, editor. Madrid:
. PEARSON; 2010.
- 24 Ogata K. Ingeniería de control moderna. 3rd ed. Hall P, editor. Mexico:
. Pearson; 1998.



- . [cited 2016 Noviembre 5. Available from:
<http://www.tecnologiaminera.com/tm/biblioteca/articulo.php?id=287>.
- 26 Chips M. Tutorial Sensor de Flujo YF-S201. [Online].; 2015 [cited 2016 Julio
. 25. Available from: <http://chips.mecatronicum.com/tutorial-sensor-de-flujo-yf-s201/>.
- 27 Electric S. SoMachine Basic V1.5. 2016. Manual de ayuda de SoMachine V1.5.
.
- 28 Electric S. docplayer.es. [Online].; 2014 [cited 2017 Octubre 10
. [EIO0000001363.03]. Available from: <http://docplayer.es/5730916-Controladores-logicos-modicon-m221-catalogo-2014.html>.



A.1. CODIGO DE DENTIFICACION DE INSTRUMENTOS. ISA-S5.1-84 (R-1992)

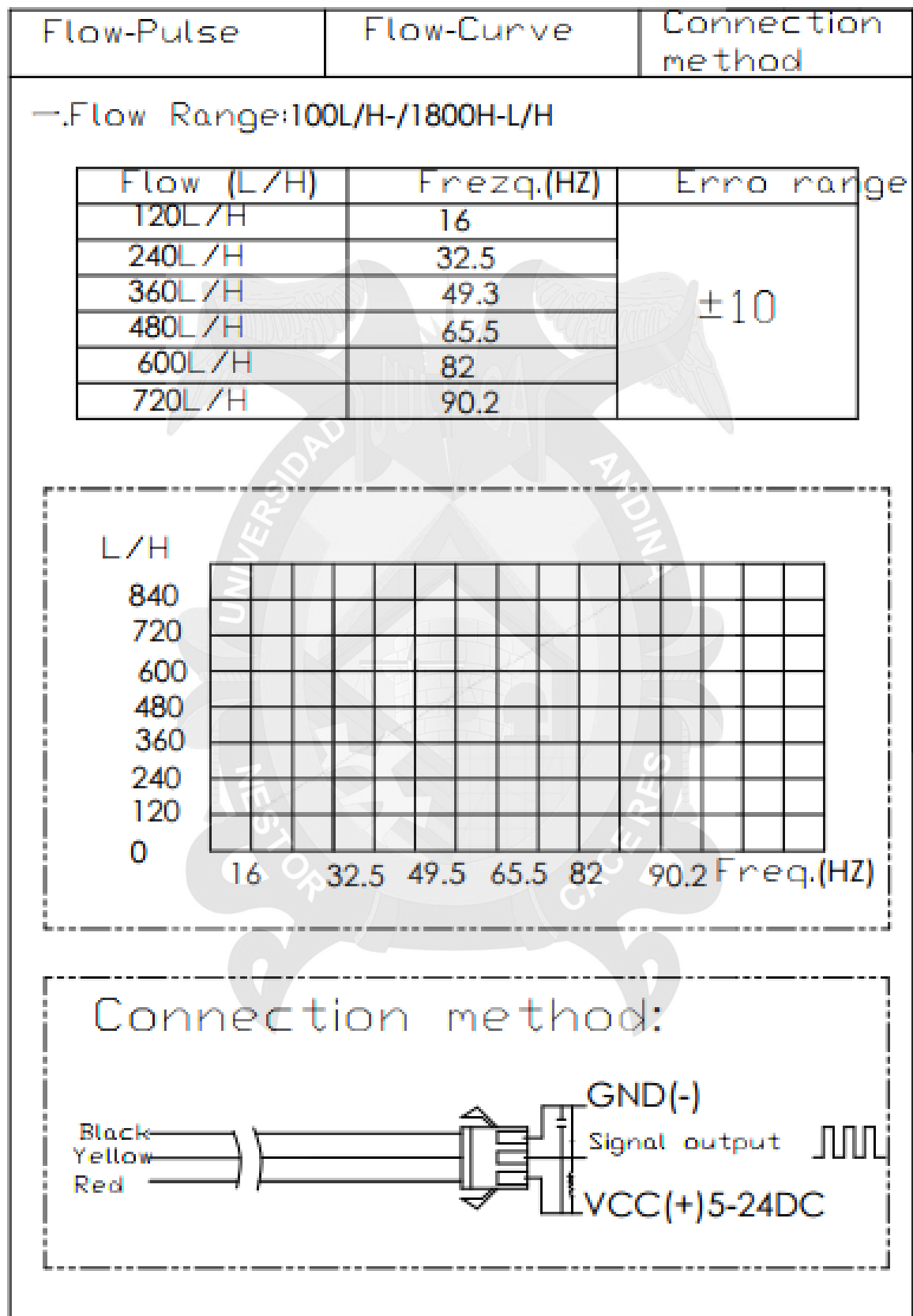
PRIMERA LETRA (4)			LETRAS SUCESIVAS (3)		
	Variable medida o inicial	Letra de modificación	Lectura o función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis(5, 19)		Alarma		
B	Quemador, combustión		Libre(1)	Libre(1)	Libre(1)
C	Libre (1)			Control (13)	
D	Libre (1)	Diferencial (4)			
E	Tensión (f.e.m.)		Sensor (Elemento primario)		
F	Caudal	Relación (4)			
G	Libre (1)		Vidrio, Dispositivo visión (9)		
H	Manual				Alto (7,15,16)
I	Corriente (eléctrica)		Indicar (10)		
J	Potencia	Explotación (7)			
K	Tiempo, programación tiempo	Variación de tiempo (4,21)		Estación de control (22)	
L	Nivel		Luz (11)		Bajo (7,15,16)
M	Libre (1)	Momentáneo (4)			Medio, Intermedio (7,15)
N	Libre (1)		Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
O	Libre (1)		Orificio, Restricción		
P	Presión, Vado		Punto (Ensayo) Conexión		
Q	Cantidad	Integrar, Totalizar (4)			
R	Radiación		Registro (17)		
S	Velocidad, Frecuencia	Seguridad (8)		Interruptor (13)	
T	Temperatura			Transmisión (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunción (12)	Multifunción (12)	Multifunción (12)
V	Vibración, Análisis mecánico (19)			Válvula, Regulador tiro, Persiana (13)	
W	Peso, fuerza		Vaina, Sonda		
X	Sin clasificar (2)	Eje X	Sin clasificar (2)	Sin clasificar (2)	Sin clasificar (2)
Y	Evento, Estado o Presencia (20)	Eje Y		Relé, Cálculo, Conversión (13,14,18)	
Z	Posición, Dimensión	Eje Z		Motor, Actuador, Elemento final de control sin clasificar	



Nº	Denominación / Name	Cantidad /	Material / Material	Protección / Protection
1	Anillo Seeger / Spring clip	1	AISI 304 / Stainless Steel	
2	Carcasa indicador / Housing indicator	1	PC+ABS / Plastic	
3	Indicador / Indicator	1	PC+ABS / Plastic	Anodizado + Pintado /
4	Cuerpo / Body	1	Al 6005-T5 / Extruded	
5	Guía Pistón / Guide piston	2	Tecnopolímero / Engineering	
6	Tórica superior / O-ring (pinion top)	1	NBR / NBR	
7	Anillo superior / Washer (pinion top)	1	Tecnopolímero / Engineering	
8	Separador / Bearing (pinion top)	1	Tecnopolímero / Engineering	
9	Leva / Cam	1	Al. Acero / Alloy steel	
10	Piñón / Pinion	1	Al. Acero / Alloy steel	Niquelado / Nickel plated
11	Anillo inferior / Bearing (pinion bottom)	1	Tecnopolímero / Engineering	
12	Tórica inferior / O-ring (pinion bottom)	1	NBR / NBR	
13	Muelle / Spring	0-12	AISI 301 / Stainless Steel	
14	Anillo pistón / Ring (Piston)	2	Tecnopolímero / Engineering	
15	Tórica pistón / O-ring (Piston)	2	NBR / NBR	
16	Pistón / Piston	2	Al. A380.1 / Cast aluminium	Anodizado + Galvanizado /
17	Tapón / Hole sealant	2	NBR / NBR	
18	O-ring / O-ring	2	NBR / NBR	
19	Tuerca / Adjust Nut	2	AISI 304 / Stainless Steel	
20	Prisionero / Adjust screw	2	AISI 304 / Stainless Steel	
21	Tornillo tope / Stop screw	2	AISI 304 / Stainless Steel	
22	Tuerca tope / Nut (stop screw)	2	AISI 304 / Stainless Steel	
23	Tórica tapa / O-ring (End cap)	2	NBR / NBR	
24	Tapa derecha / End cap right	2	Al. A380.1 / Cast aluminium	Anodizado + Pintado /
25	Tapa izquierda / End cap left	2	Al. A380.1 / Cast aluminium	Anodizado + Pintado /
26	Tornillo tapa / Cap screw	8	AISI 304 / Stainless Steel	



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - TECHNICAL DATA			
Descripción		Description	Valores
0	Modelo	Model	5951 00
1	Señal de entrada	Input signal	4 ~ 20 mA DC
2	Impedancia	Impedance	250 \pm 15 Ω
3	Presión de entrada	Supply pressure	1.4 ~ 7 kgf/cm ² (20 ~ 100psi)
4	Movimiento	Stroke	0 - 90°
5	Conexión del aire	Air connection	G (NPT)1/4"
6	Conexión de manómetros	Gauge connection	G (NPT)1/8"
7	Conducto	Conduit	M20 x 1,5
8	Protección ATEX	Explosion Proof	Non-Explosion
9	Protección	Protection	IP66
10	Temperatura ambiente	Ambient temperature	-20°C ~ 70°C
11	Linealidad	Linearity	\pm 1% F.S. (final de escala)
12	Histéresis	Hysteresis	\pm 1% F.S. (final de escala)
13	Sensibilidad	Sensitivity	\pm 0.2% F.S. (final de escala)
14	Capacidad de repetición	Repeatability	\pm 0.5%
15	Consumición del aire	Air consumption	3LPM (Sup = 1.4kgf/cm ² , 20psi)
16	Capacidad de flujo	Flow capacity	80LPM (Sup = 1.4kgf/cm ² , 20psi)
17	Material	Material	Aleación de aluminio
18	Peso	Weight	2.8 kg (6.2 lb)



YIFA the plastics Ltd Prodcut Introduction

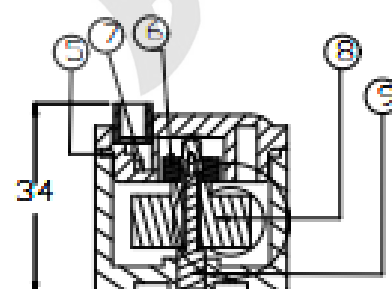
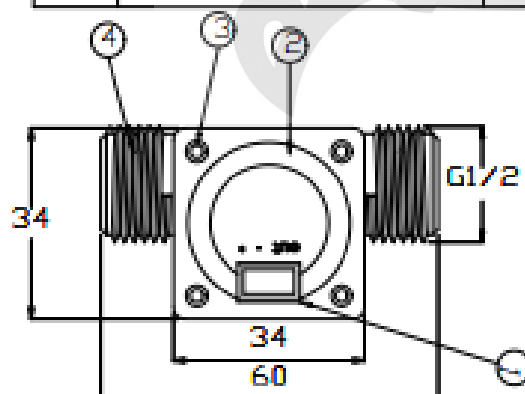
- 1.Modle:YF-21
- 2.Product Name:Hall sensor
- 3.Flow Range: 1-30L/MIN
- 4.(1)Connection Method




- (2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: $F=7Q(L/MIN)$.
- (3)Extent of error: $\pm 5\%$.
- (4)Flow-Pulse
 - 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
 - 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

5.Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			





Documento	PETS	UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
Fecha de Elaboración: Setiembre 2017			
Fecha de Revisión: 25/09/2017	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (LABORATORIO DE INGENIERIA MECATRONICA)		
Página 1 de 2			
OPERACIÓN DE LA PLANTA MERRILL CROWE			

1. PERSONAL.

- 1.1 Jefe de Laboratorio de Ing. Mecatrónica.
- 1.2 Estudiantes de Ing. Mecatrónica.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 2.1 Ropa de trabajo (mameluco o guardapolvo).
- 2.2 Zapatos dieléctricos con punta reforzada.
- 2.3 Casco tipo jockey.
- 2.4 Lentes de seguridad.
- 2.5 Guantes dieléctricos y badana.
- 2.6 Tapones de oído.

3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1 Herramientas básicas de ajuste (destornilladores).
- 3.2 Pinza Amperimetrica.
- 3.3 Tablero o cuaderno de apuntes.
- 3.4 PETS de Operación de Planta Merrill Crowe.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Realizar inspección general de los contenedores, tanques, tuberías, posición de las válvulas manuales, ajuste de tuberías y libre rotación de las electrobombas.
- 4.2 Verificar la adecuada fuente tensión de alimentación 220VAC en la entrada del interruptor principal haciendo uso del voltímetro.
- 4.3 Verificar la conexión de aire comprimido a 6 bar regulado en la unidad de mantenimiento o en la válvula de regulación del compresor de aire..
- 4.4 Llenar con agua los recipientes de las pozas de operaciones e intermedia hasta el nivel marcado en cada recipiente.
- 4.5 Activar los interruptores termo-magnéticos de fuerza y mando del tablero de CCM.
- 4.6 Activar el interruptor de encendido del selector del tablero de control, activar el 2do interruptor selector del tablero de control en la opción de mando manual




abiertas a excepción del alimentador y descarga del dosificador de Zinc, (Para la prueba en modo manual, abrir también la válvula de bypass ubicado en paralelo a la válvula de control con posicionador electroneumático)

- 4.8 Realizar la prueba de arranque de bombas según la secuencia del orden de las botoneras del CCM (1ero. Bomba de operaciones, 2do. Bomba de precipitado, 3ro. Bomba de vacío, 4to. Dosificador de zinc, 5to. Bomba de riego.
- 4.9 Verificar la lectura del Flujómetro y nivel de la torre de vacío.
- 4.10 Parar los equipos haciendo uso de los pulsadores rojos de parada, hacer un nuevo arranque con la misma secuencia y hacer uso de la parada de emergencia.
- 4.11 Cambiar el interruptor selector a la opción intermedio "0"
- 4.12 Conectar el cable de comunicación Ethernet al PLC y la PC
- 4.13 Realizar la comunicación PLC con la PC con el software SoMachine Basic
- 4.14 Cambiar el selector a la opción de automático.
- 4.15 Verificar el arranque secuencial en automático.
- 4.16 Cambiar los valores predeterminados del nivel desde SoMachine Basic.
- 4.17 Verificar la estabilidad de la torre de vacío y posición de la válvula de control.
- 4.18 Tomar lectura de valores de caudal y nivel de la torre de vacío.
- 4.19 Realizar pruebas de control de nivel con variación de flujo de alimentación.
- 4.20 Culminadas las pruebas dejar el nivel de la torre de vacío y tanque de riego en nivel cero, haciendo uso del mando manual.

5. RESTRICCIONES

- 5.1 No manipular el cableado con circuitos energizados, cortar toda fuente de alimentación y bloquearla, para realizar algún cambio de conexión.
- 5.2 Todos los involucrados en la tarea, deberán mantener la secuencia en la intervención de arranque de equipos.
- 5.3 No operar la planta sin supervisión del encargado de laboratorio.
- 5.4 No arrancar las bombas sin agua.



Documento	PETS	UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
Fecha de Elaboración: Setiembre 2017			
Fecha de Revisión: 25/09/2017	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (LABORATORIO DE INGENIERIA MECATRONICA)		
Página 1 de 1			
INSPECCION DE EQUIPOS DE LA PLANTA MERRILL CROWE			

1. PERSONAL.

- 1.1 Jefe de Laboratorio de Ing. Mecatrónica.
- 1.2 Estudiantes de Ing. Mecatrónica.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 2.1 Ropa de trabajo (mameluco o guardapolvo).
- 2.2 Zapatos dieléctricos con punta reforzada.
- 2.3 Casco tipo jockey.
- 2.4 Lentes de seguridad.
- 2.5 Guantes dieléctricos y badana.

3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1 Herramientas básicas de ajuste (destornilladores).
- 3.2 Tablero o cuaderno de apuntes.
- 3.3 Check list de inspección de equipos


4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Bloquear el interruptor termo magnético principal del tablero eléctrico y desconectar físicamente el enchufe del tomacorriente de alimentación.
- 4.2 Apagar el compresor de aire y cerrar la válvula de alimentación de aire comprimido.
- 4.3 Realizar inspección general de los contenedores, tanques, tuberías, posición de las válvulas manuales, ajuste de tuberías y libre rotación de las electrobombas.
- 4.4 Verificar los niveles adecuados de agua en los contenedores o pozas de solución rica e intermedia.
- 4.5 Verificar el ajuste de las conexiones de tuberías de agua y líneas de aire para el descarte de posibles fugas.

5. RESTRICCIONES

- 5.1 No realizar cambio de conexiones sin actualizar el plano eléctrico.
- 5.2 No retirar la tapa del posicionador electroneumático.



Documento	PETS	UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CACERES VELASQUEZ	
Fecha de Elaboración: Setiembre 2017			
Fecha de Revisión: 25/09/2017	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (LABORATORIO DE INGENIERIA MECATRONICA)		
Página 1 de 1			
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE LA PLANTA MERRILL CROWE			

1. PERSONAL.

- 1.1 Jefe de Laboratorio de Ing. Mecatrónica.
- 1.2 Estudiantes de Ing. Mecatrónica.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- 2.1 Ropa de trabajo (mameluco o guardapolvo).
- 2.2 Zapatos dieléctricos con punta reforzada.
- 2.3 Casco tipo jockey.
- 2.4 Lentes de seguridad.
- 2.5 Guantes dieléctricos y badana.

3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

- 3.1 Multímetro digital.
- 3.2 Megóhmetro de 0-500VCC.
- 3.3 Juego de destornilladores.
- 3.4 Juego de Llaves mixtas.
- 3.5 Alicata de presión.
- 3.6 Llave Stilson de 10".
- 3.7 Trapo industrial.
- 3.8 Manguera de ½".
- 3.9 Ficha de lista de partes de bombas periféricas.
- 3.10 Tablero o cuaderno de apuntes.

4. PROCEDIMIENTO

- 4.1 Bloquear el interruptor termo magnético principal del tablero eléctrico y desconectar físicamente el enchufe del tomacorriente de alimentación.
- 4.2 Apagar el compresor de aire y cerrar la válvula de alimentación de aire comprimido.
- 4.3 Drenar el contenido de agua de los contenedores, tanques, tuberías, haciendo uso de una manguera de ½" conectado a la válvula de drenaje.

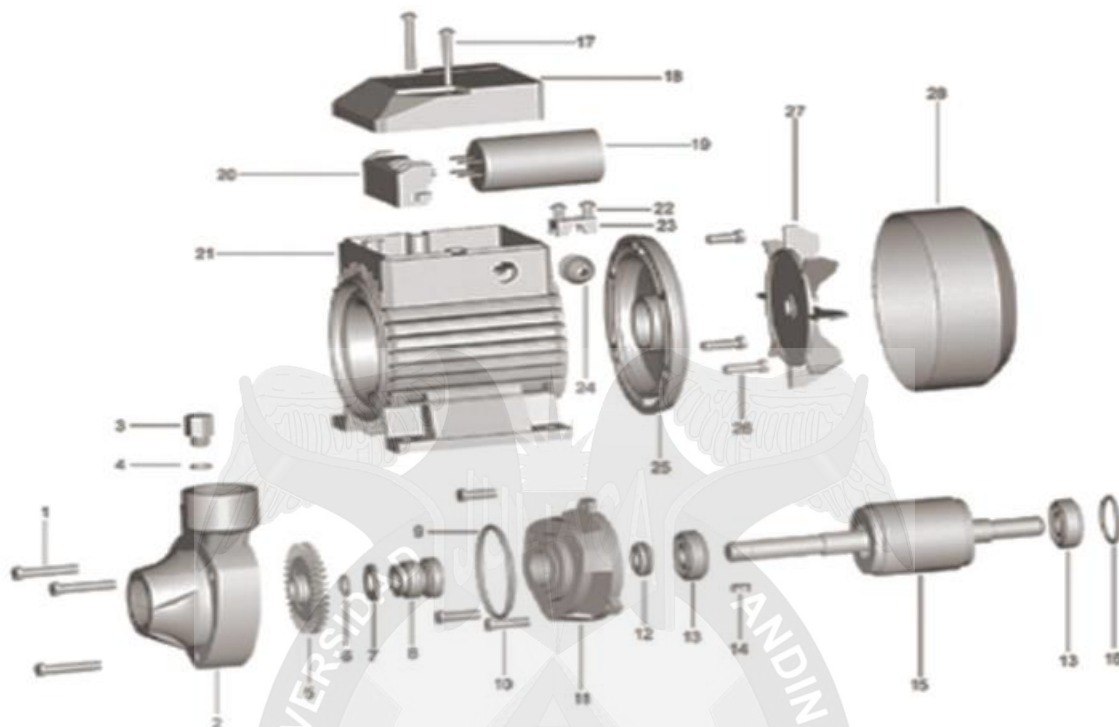


tanque de riego inspeccionando detenidamente el estado de las justas y tuberías de conexión.

- 4.5 Desmontar la conexión de las tuberías de succión de las electrobombas y retirar las válvulas anti retorno para su desmontaje y limpieza.
- 4.6 Desmontar la carcasa de cubierta del impulsor para realizar la limpieza de la cámara de bombeo.
- 4.7 Realizar el montaje de las válvulas anti retorno aplicando una capa de cinta de teflón para sellar el ajuste.
- 4.8 Realizar el montaje de la carcasa de cubierta del impulsor aplicando una capa de grasa alrededor del o'ring.
- 4.9 Retirar la tapa de la caja de bornes del motor eléctrico y desconectar del cableado de alimentación, condensadores y realizar la medición de aislamiento del bobinado del motor eléctrico utilizando el megohmetro en un rango de 0-500 VCC por un periodo de 1min.
- 4.10 Si se detectara bajo aislamiento del bobinado, se proceder a desmontar la electrobomba y realizar el trabajo de barnizado para mejorar el aislamiento.
- 4.11 El mantenimiento de las electrobombas se debe realizar cada 6 meses y la medición de aislamiento del motor eléctrico cada 2 años.
- 4.12 Realizar la reconexión del cableado de los motores eléctricos y colocar la tapa de la caja de bornes.
- 4.13 Verificar las el ajuste y limpieza de las conexiones eléctricas en las borneras y tornillos de ajuste de los componentes del tablero eléctrico.

5. RESTRICCIONES

- 5.1 Nunca realizar trabajos de mantenimiento con el equipo energizado.
- 5.2 El mantenimiento debe ser realizado por personal capacitado y autorizado por el jefe de Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica
- 5.3 No dejar restos de materiales en las pozas de operaciones e intermedia.
- 5.4 No reutilizar el agua retira antes del mantenimiento.



No.	Descripción	Description
1	TORNILLO	SCREW
2	CARCAZA DE BOMBA	PUMP CASING
3	CONECTOR	CHARGE PLUG
4	ANILLO "O"	"O"RING
5	CORONA	IMPELLER
6	ANILLO	SNAP RING
7	ARANDELA	WASHER
8	JUNTA	MECHANICAL SEAL
9	ANILLO "O"	"O"RING
10	TORNILLO	SCREW
11	SOPORTE DE BOMBA	PUMP SUPPORT
12	RETEN	DROPS GUARD
13	RODAMIENTO	BEARING
14	CHAVETA	KEY
15	ROTOR	ROTOR
16	ANILLO	SPLIT RING
17	TORNILLO	SCREW
18	TAPA DE CONECTORES	TERMINAL COVER
19	CAPACITOR	CAPACITOR
20	PLACA DE CONECTORES	TERMINAL BOARD
21	CARCAZA DE MOTOR Y CAMPO	CASING WITH WOUND STATOR
22	TORNILLO	SCREW
23	PRENSA CABLE	CABLE PRESSER
24	GUIA PARA EL CABLE	FAIRLEAD
25	TAPA	DRIVING CAP
26	TORNILLO	SCREW
27	VENTILADOR	FAN
28	TAPA DE VENTILADOR	FAN COVER



```
#include <SimpleModbusSlave.h>

enum
{
    CAUDAL_FLUJOMETRO, // dirección 0
    NIVEL_BOYA,        // dirección 1
    HOLDING_REGS_SIZE
};

unsigned int holdingRegs[HOLDING_REGS_SIZE]; // función 3 y 16 del protocolo
ModBus

//-----***** CONFIGURACION LCD 2X16 *****-----//

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

//-----***** VARIABLES SENSOR DE CAUDAL *****-----//

const int sensor = 3; // Pin digital para el sensor de flujo YF-S201
int litros_Minuto;    // Variable que almacena el caudal (L/min)
volatile int pulsos = 0; // Variable que almacena el número de pulsos
unsigned long tiempoAnterior = 0; // Variable para calcular el tiempo transcurrido
unsigned long pulsos_Acumulados = 0; // Variable que almacena el número de
pulsos acumulados

float litros; // Variable que almacena el número de litros acumulados

void flujo() // Rutina de servicio de la interrupción (ISR)
{
    pulsos++; // Incrementa en una unidad el número de pulsos
}

//-----***** VARIABLES DE ESCALAMIENTO *****-----//

// El valor de las pendientes (m) de hallaron con el cuadro de tendencia (valor
numérico - centímetros)

float pendiente_1 = 361.22; // desde: 0249-3500 para 05cm-14cm
float pendiente_2 = 216.4; // desde: 3500-4582 para 14cm-19cm
float pendiente_3 = 216.4; // desde: 4582-5330 para 19cm-23cm
float pendiente_4 = 112.11; // desde: 5330-6339 para 23cm-32cm
float pendiente_5 = 71.75; // desde: 6339-7200 para 32cm-44cm
```




```
float pendiente_7 = 47.87; // desde: 7777-8495 para 55cm-70cm
float pendiente_8 = 54.66; // desde: 8495-9151 para 70cm-82cm
int NIVEL_CM=0; // almacenara el valor en centímetros

void setup()
{
//-----***** CONFIGURACION MODBUS RTU RS485 *****-----//

  modbus_configure(&Serial, 9600, SERIAL_8N2, 1, 2, HOLDING_REGS_SIZE,
  holdingRegs);

  modbus_update_comms(9600, SERIAL_8N2, 1);

  //-----***** CONFIGURACION LCD 2X16 *****-----//

  pinMode(sensor, INPUT_PULLUP); // Pin 3 digital : como entrada con conexión
  PULL-UP interna

  lcd.begin(16,2); // Inicializo el LCD 2004

//-----***** INTERRUPCION FLUJOMETRO *****-----//

  interrupts(); // Habilitamos las interrupciones

  // Interrupción INT0, llama a la ISR llamada "flujo" en cada flanco de subida en el pin
  digital 3

  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(sensor), flujo, RISING);

  tiempoAnterior = millis(); // Guardamos el tiempo que tarda el ejecutarse el setup
}

void loop()
{
//-----***** MODBUS RTU RS485 *****-----//

  modbus_update();

  holdingRegs[CAUDAL_FLUJOMETRO] = litros_Minuto; // guardamos el valor del
  caudal para

  //El PLC leerá este valor

//-----***** FLUJOMETRO *****-----//

  // Calculamos caudal en litros por minuto

  if(millis() - tiempoAnterior > 1000)
  {
    tiempoAnterior = millis(); // Actualizo el nuevo tiempo
```



```
pulsos = 0; // Pongo nuevamente el número de pulsos a cero

LCD_2004(); // Llamada a la función que muestra los resultados en
el LCD 2004

}

ESCALAMINETO_A_CENTIMETROS (); // Llamamos a la función de escalamiento.

}

//-----***** FUNCION LCD_2017 *****-----//

void LCD_2004()
{
    lcd.clear(); // Imprimo la cabecera del sistema

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("SOL.RICA | NIVEL");

    lcd.setCursor(0,1); // Presentamos los valores a través del LCD 2004 e
    Imprimimos el caudal en Litros por minuto (LPM)

    lcd.print(litros_Minuto, DEC);

    lcd.print(" LPM");

    lcd.setCursor(9,1);

    lcd.print("|");

    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]<=248)
    {
        lcd.setCursor(11,1);

        lcd.print(" MIN. ");

    }

    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>6690)
    {
        lcd.setCursor(11,1);

        lcd.print(" MAX. ");

    }

    lcd.setCursor(11,1);

    lcd.print(NIVEL_CM);

    lcd.print(" cm");

}
```



```
//----- [X2=((Y2-Y1)/M)+X1] -----//  
  
void ESCALAMINETO_A_CENTIMETROS ()  
{  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>248 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 3500 ) //  
    pendiente 1  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-249)/pendiente_1)+5)+0.5;  
    }  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>3500 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 4582 )//  
    pendiente 2  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-3500)/pendiente_2)+14)+0.5;  
    }  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>4582 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 5330 )//  
    pendiente 3  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-4582)/pendiente_3)+19)+0.5;  
    }  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>5330 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 6339 )//  
    pendiente 4  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-5330)/pendiente_4)+23)+0.6;  
    }  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>6339 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 7200 )//  
    pendiente 5  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-6339)/pendiente_5)+32)+1.2;  
    }  
  
    if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>7200 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 7777 )//  
    pendiente 6  
    {  
        NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-7200)/pendiente_6)+44)+1.2;
```



```
if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>7777 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 8495 )//  
pendiente 7  
{  
    NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-7777)/pendiente_7)+55)+1;  
}  
if (holdingRegs[NIVEL_BOYA]>8495 && holdingRegs[NIVEL_BOYA] <= 9151 )//  
pendiente 8  
{  
    NIVEL_CM = (((holdingRegs[NIVEL_BOYA]-8495)/pendiente_8)+70)+1;  
}  
}
```


PROGRAMAR

Comportamiento

Nivel funcional: Nivel 4.1
Modalidad de inicio: Inicio en estado anterior
Watchdog: 250 ms
Comportamiento de recuperación: Valor de retorno

Utilización de memoria

Se requiere una compilación correcta para obtener información de la memoria.

Arquitectura De La Aplicación

Tarea maestra

Modalidad de exploración: Normal
Lista de POU:
1 - ARRANQUE DE MOTORES
2 - ARRANQUE DEL SISTEMA CROWE
3 - MANEJO DE VARIABLES
4 - COMUNICACION MODBUS RTU RS495

Tarea periódica

Periodo: 255 ms

Tarea maestra

1 - ARRANQUE DE MOTORES

Tarea maestra

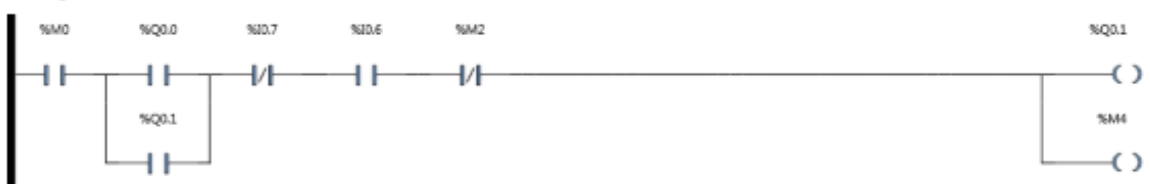
Rung0



Variables utilizadas:

%I0.3	LELPO	NIVEL BAJO DE POZA DE OPERACIONES
%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%M1	LHT	NIVEL ALTO DE TORRE
%M3		
%Q0.0	M1	BOMBA DE OPERACIONES

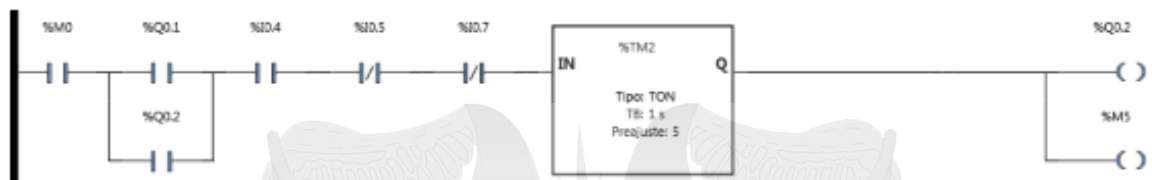
Rung1





%I0.6	LEHTR	NIVEL ALTO DE TANQUE DE RIEGO
%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%M2	LLT	NIVEL BAJO DE TORRE
%M4		
%Q0.0	M1	BOMBA DE OPERACIONES
%Q0.1	M2	BOMBA DE PRECIPITADO

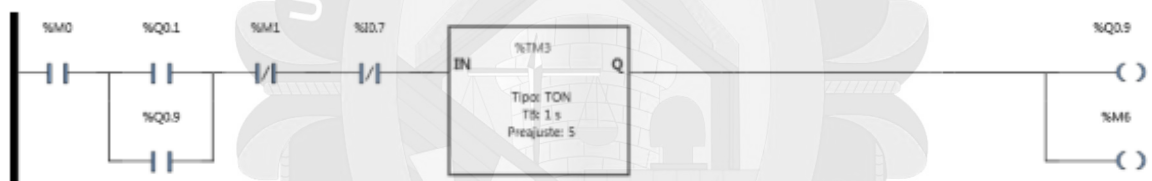
Rung2



Variables utilizadas:

%I0.4	LEHPO	NIVEL ALTO DE POZA DE OPERACIONES
%I0.5	LELTR	NIVEL BAJO DE TANQUE DE RIEGO
%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%M5		
%Q0.1	M2	BOMBA DE PRECIPITADO
%Q0.2	M3	BOMBA DE RIEGO
%TM2		

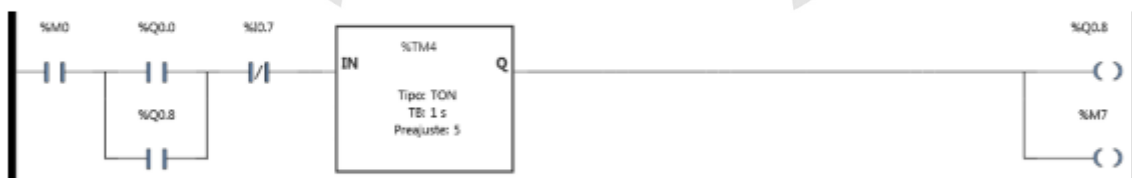
Rung3



Variables utilizadas:

%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%M1	LHT	NIVEL ALTO DE TORRE
%M6		
%Q0.1	M2	BOMBA DE PRECIPITADO
%Q0.9	M5	DOSIFICADOR DE ZINC
%TM3		

Rung4



Variables utilizadas:

%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%M7		
%Q0.0	M1	BOMBA DE OPERACIONES
%Q0.8	M4	BOMBA DE VACIO
%TM4		



Variables utilizadas:

%I0.0	F1	GUARDA MOTOR 1
%Q0.3	DF1	DISPARO RELE F1

Rung6



Variables utilizadas:

%I0.1	F2	GUARDA MOTOR 2
%Q0.4	DF2	DISPARO RELE F2

Rung7



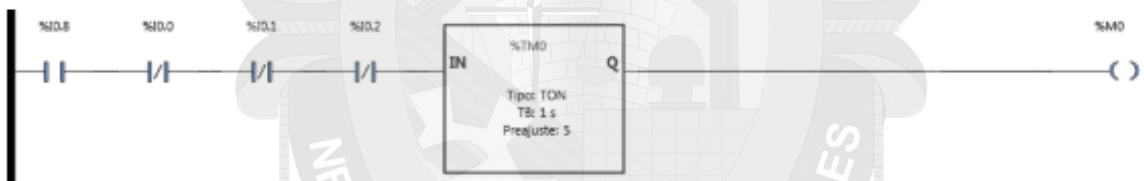
Variables utilizadas:

%I0.2	F3	GUARDA MOTOR 3
%Q0.5	DF3	DISPARO RELE F3

2 - ARRANQUE DEL SISTEMA CROWE

Tarea maestra

Rung0



Variables utilizadas:

%I0.0	F1	GUARDA MOTOR 1
%I0.1	F2	GUARDA MOTOR 2
%I0.2	F3	GUARDA MOTOR 3
%I0.8	AUTO	MODO AUTOMATICO
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%TMD		

Rung1





%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%I0.8	AUTO	MODO AUTOMATICO
%M8		
%Q0.5	DF3	DISPARO RELE F3
%Q0.6	PF	PARADA DE PLANTA
%Q0.7	OP	OPERACION DE PLANTA
%S5	SB_TB100MS	Time base of 100 ms generated by an internal clock
%S6	SB_TB1s	Time base of 1 s generated by an internal clock

Rung2



Variables utilizadas:

%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M0	MAUT	AUTOMATICO
%Q0.0	M1	BOMBA DE OPERACIONES
%Q0.1	M2	BOMBA DE PRECIPITADO
%Q0.2	M3	BOMBA DE RIEGO
%Q0.7	OP	OPERACION DE PLANTA

Rung3



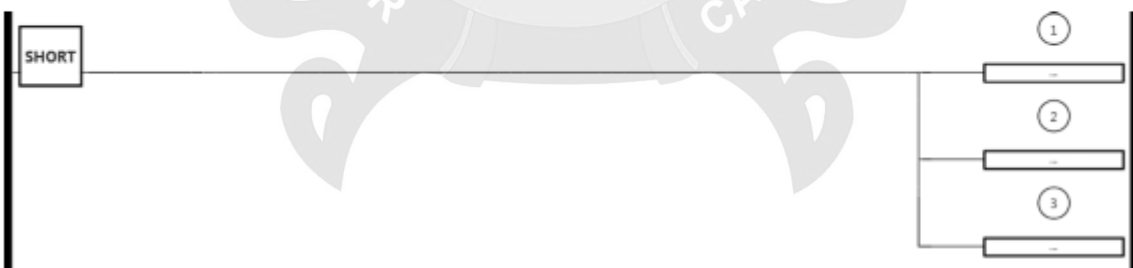
Variables utilizadas:

%I0.7	FE	PARADA DE EMERGENCIA
%M8		

3 - MANEJO DE VARIABLES

Tarea maestra

Rung0



Leyenda:

- 1 %MF30 := INT_TO_REAL(%MW10)
- 2 %MF32 := %MF30 * 1.6
- 3 %MF34 := %MF32 + 4000.0

Variables utilizadas:

%MF30		
%MF32		
%MF34		
%MW10	OUT_PID	Salida del PID sin escalamiento



Leyenda:

```
1  %MW11 := REAL_TO_INT(%MF34)
2  %QW1.0 := %MW11
```

Variables utilizadas:

%MF34		
%MW11	OUT_MA	Salida escalada en mA
%QW1.0	OUT_1	Salida para Válvula de Control

Rung2



Variables utilizadas:

PID 0		CONTROL NIVEL DE LA TORRE
-------	--	---------------------------

Rung3



Variables utilizadas:

%IW1.1	IN_SENSOR	Entrada del sensor de Nivel
%M2	DLT	NIVEL BAJO DE TORRE

Rung4



Variables utilizadas:

%IW1.1	IN_SENSOR	Entrada del sensor de Nivel
%M1	LHT	NIVEL ALTO DE TORRE

Rung5



Leyenda:

```
1  %MW19 := %IW1.1
```

Variables utilizadas:

%IW1.1	IN_SENSOR	Entrada del sensor de Nivel
%MW19		

Rung6



Leyenda:

```
1  %MW51 := %MW19
```

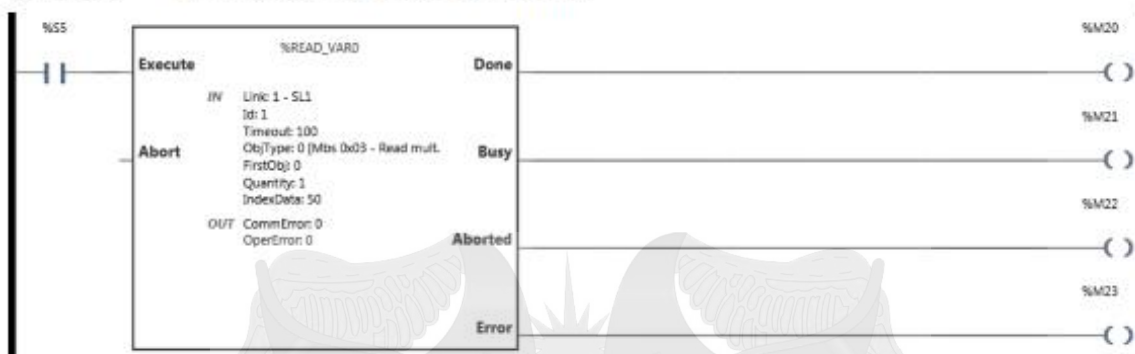
Variables utilizadas:

%MW19		
%MW51	NIVEL_BOYA	en esta memoria se guardara el valor LEIDO del ARDUINO

Tarea maestra

Rung0 - LECTURA DE DATOS

Comentario: LECTURAREMOS LOS DATOS DEL ARDUINO



Variables utilizadas:

%M20 READ_TERMINADO
%M21 READ_OCUPADO
%M22 READ_CANCELADO
%M23 READ_FALLA

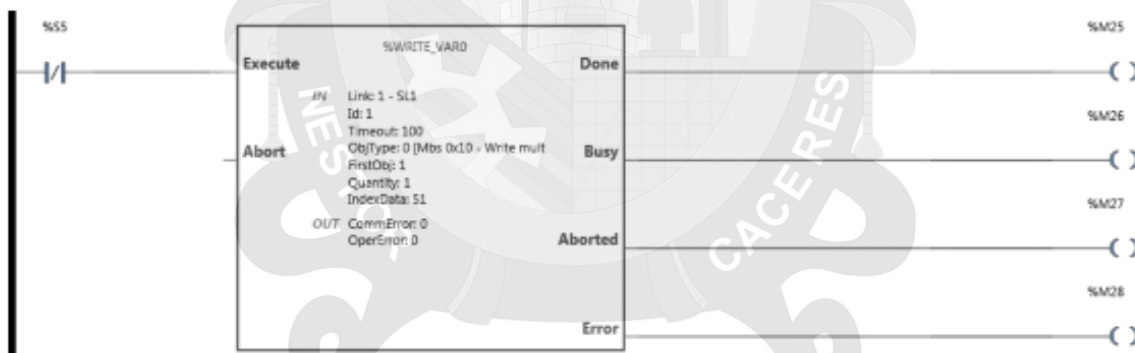
%READ_VAR0 LECTURA

%S5 SB_TB100MS

LEER DATOS DEL ARDUINO. direccion del primer objeto de lectura, cantidad de datos, direccion de almacenamiento en el PLC %MW5
Time base of 100 ms generated by an internal clock

Rung1 - ESCRITURA DE DATOS

Comentario: ESCRIBIREMOS EN EL ARDUINO



Variables utilizadas:

%M25 WRITE_TERMINADO
%M26 WRITE_OCUPADO
%M27 WHITE_CANCELADO
%M28 WHITE_FALLA

%S5 SB_TB100MS

%WRITE_VAR0 ESCRITURA

Time base of 100 ms generated by an internal clock

ESCRIBIR EN EL ARDUINO, direccion primer objeto, cantidad de datos, direccion de datos a escribir PLC %MW51